

**Herkunft, Eigenschaften und Konservierungsmöglichkeiten
von Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen
an Baudenkmalen in Thüringen**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der
Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von
Dipl.- Ing. Heike Kirsten
aus Erfurt

Weimar 2009

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian Kaps
Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Bauchemie

Prof. Dr. Roman Koch
GeoZentrum Nordbayern an der Universität Erlangen
Angewandte Sedimentologie und Bausteinforschung

Prof. Dr.-Ing. Christel Nehring
Fachhochschule Erfurt, Fakultät Bauingenieurwesen und
Konservierung / Restaurierung

Prof. Dr. rer. nat. Heiner Siedel
Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Geotechnik

Ort und Tag
der Disputation: Weimar, den 27.08.2009

Danksagung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Erhaltung von Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen an Baudenkmalen in Thüringen leisten. Sie beinhaltet die Erkundung der Vorkommen, die Untersuchung der petrographischen Merkmale und technischen Eigenschaften sowie die Darstellung ihrer Konservierungsmöglichkeiten.

Angeregt durch eigene Erfahrungen mit diesen in der Konservierung „problematischen“ Sandsteinen, entstand die Arbeit in den Jahren 2003 bis 2008 neben meiner Tätigkeit als Inhaberin des Ingenieurbüros für Steinsanierung und Denkmalpflege.

Durch eine Förderung des Thüringer Kultusministeriums wurde mir eine befristete wissenschaftliche Tätigkeit an der Fachhochschule Erfurt finanziert, in deren Rahmen ich die erforderlichen Laboruntersuchungen vornehmen konnte. Dafür möchte ich beiden Einrichtungen, insbesondere jedoch den Mitarbeitern des Fachbereichs Bauingenieurwesen, recht herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Christel Nehring von der Fachhochschule Erfurt und Herrn Dr. Werner Zier von der Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar für die fachliche Unterstützung, die Motivation und die ständige Diskussionsbereitschaft.

Herr Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian Kaps von der Bauhaus-Universität Weimar fand sich bereit, ein Thema, für das es in der Denkmalpflege großes Interesse gibt, als Mentor zu betreuen. Er hat die externe Promotion in dankenswerter Weise im Fachbereich Bauchemie eingebunden und gefördert.

Herr Prof. Dr. Roman Koch von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen hat mir den Blick über den Thüringischen „Beckenrand“ ermöglicht und mir die Schilfsandsteine anderer Regionen zugänglich gemacht. Die Teilnahme an seinen Exkursionen und Petrographievorlesungen eröffnete mir neue Horizonte und Einblicke in die Sandsteindiagenese.

Dr. Lutz Katzschmann von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie war mir bei der Recherche und Lagebestimmung der historischen Steinbrüche behilflich. Dr. Dieter Klaua aus Jena untersuchte die zahlreichen Dünnschliffe der Sandsteine und half mir den analytischen Teil der Arbeit zu bewältigen. Beiden danke ich für die zahlreichen Gespräche und Anregungen zu meiner Arbeit.

Mein Dank geht auch an die Kollegen aus den Restaurierungsbetrieben und an die freiberuflichen Steinrestauratoren Thüringens, die mir ihre Unterlagen über Konservierungsmaßnahmen an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen zur Verfügung stellten, so dass ich eine breit gefächerte Auswertung dieser Arbeiten vornehmen konnte.

Letztendlich möchte ich meiner Familie für ihre praktische und moralische Unterstützung und ihren zeitweiligen Verzicht auf Familienleben danken, ohne die die Arbeit für mich nicht durchführbar gewesen wäre.

Erfurt, im September 2009

Heike Kirsten

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise geholfen:

1. Dr. Dieter Klaua, Emma-Heintz-Str. 7, 07745 Jena hat die petrographischen Untersuchungen an den Dünnschliffen vorgenommen.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Erfurt, im September 2009

Heike Kirsten

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	THÜRINGISCHE STEINBRÜCHE IM LETTENKEUPER- UND SCHILFSANDSTEIN	3
2.1	Verbreitung, Stratigraphie und Faziesentwicklung des Keupers in Thüringen	3
2.2	Lettenkeuper- und Schilfsandstein als Naturwerkstein - Abbausituation und Anwendungsbeispiele in Thüringen	7
2.2.1	Abbausituation und bisher bekannte Steinbrüche	7
2.2.2	Anwendungsbeispiele	8
2.3	Erfassung und Beschreibung der Steinbrüche	11
2.3.1	Allgemeiner Überblick	11
2.3.2	Beschreibung der Steinbrüche	16
3	PETROGRAPHISCHE BESCHREIBUNG UND TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN	19
3.1	Bisherige Kenntnisse	19
3.1.1	Petrographie	19
3.1.2	Technische Eigenschaften	20
3.2	Untersuchungen zur Petrographie und den technischen Eigenschaften der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	22
3.2.1	Herkunft und Aufbereitung des Probematerials	22
3.2.2	Untersuchungen und Prüfverfahren	24
3.3	Petrographische Beschreibung	25
3.3.1	Beschreibung der einzelnen Sandsteine	25
3.3.2	Gesteinsansprache und allgemeine Merkmale	27
3.3.2.1	Gefüge	27
3.3.2.2	Mineralbestand	28
3.3.2.3	Kornbindung	30
3.4	Gesteinstechnische Eigenschaften	34
3.4.1	Hygrische Eigenschaften	34
3.4.1.1	Wasseraufnahme und Sättigungswert	34
3.4.1.2	Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	37
3.4.1.3	Hygroskopische Wasseraufnahme	39
3.4.1.4	Hygrische Dehnung	42
3.4.1.5	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	44
3.4.2	Festigkeitseigenschaften	45
3.4.2.1	Druckfestigkeit	45
3.4.2.2	Biegezugfestigkeit	48
3.4.2.3	Statischer und dynamischer E-Modul	51
3.4.2.4	Beständigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechsel	52

3.5	Wertung der Untersuchungsergebnisse	55
3.5.1	Allgemeine Merkmale der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	55
3.5.2	Unterschiede zwischen den Sandsteinen	56
3.5.2.1	Definition von Qualitätsgruppen / Zuordnung der Sandsteine	56
3.5.2.2	Vergleich der Gefügemerkmale	59
3.5.2.3	Vergleich der technischen Eigenschaften	61
3.5.3	Zusammenhänge zwischen Petrographie und technischen Eigenschaften in Bezug auf die Qualitätsgruppen	62
3.5.3.1	Einfluss der Petrographie auf die hygrischen Eigenschaften	62
3.5.3.2	Einfluss der Petrographie auf die Festigkeitseigenschaften	67
3.5.3.3	Einschätzung der Verwitterungsbeständigkeit	72
3.5.4	Regionale Verteilung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine in Hinblick auf ihre Qualitätsgruppen	73
3.5.5	Vergleich zwischen thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen	75
4	VERWENDUNG UND VERWITTERUNGSVERHALTEN DER SANDSTEINE IM GEBÄUDEBESTAND	76
4.1	Verwendung der Steine am Bauwerk	76
4.2	Verwitterungsverhalten	79
4.2.1	Bisheriger Kenntnisstand	79
4.2.2	Schadbilder	81
4.2.3	Einfluss von Exposition und Einbausituation	85
4.2.4	Einfluss der Steinvarietät (Qualitätsgruppe)	93
4.2.5	Regionale Besonderheiten im Verwitterungsverhalten	94
5	KONSERVIERUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR DIE LETTENKEUPER- UND SCHILFSANDSTEINE THÜRINGENS	95
5.1	Gegenwärtiger Stand der Steinkonservierung	95
5.1.1	Steinfestigung	97
5.1.2	Hydrophobierung	100
5.1.3	Anstriche und Schlämmen	101
5.1.4	Quellmindernde Schutzstoffe	102
5.2	Vorbetrachtungen zur Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	104
5.2.1	Allgemeine Anforderungen an Konservierungsmaßnahmen	104
5.2.2	Darstellung der für die Konservierung relevanten Eigenschaften und Anforderungen an die Konservierungsmittel	106
5.3	Auswertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen	107
5.3.1	Allgemeiner Überblick	107
5.3.2	Nachkontrolle von Konservierungsmaßnahmen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen	110
5.3.3	Zusammenfassende Bewertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen	113

5.4	Laborversuche zur Steinfestigung	114
5.4.1	Auswahl und Applikation der Festigungsmittel	114
5.4.2	Untersuchungsergebnisse	116
5.4.2.1	Untersuchungen zum Aufnahmeverhalten der Festigungsmittel	116
5.4.2.2	Visuelle Veränderungen	119
5.4.2.3	Dichte und Porosität	119
5.4.2.4	Wasseraufnahmevermögen der gefestigten Sandsteine	121
5.4.2.5	Wasserdampfdiffusion	123
5.4.2.6	Hygrische Dehnung	124
5.4.2.7	Druck- und Biegezugfestigkeit	126
5.4.2.8	Statischer und Dynamischer E-Modul	128
5.4.2.9	Beständigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechsel	130
5.4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	131
5.5	Anwendung der Ergebnisse an Musterflächen	134
5.5.1	Applikation der Steinfestiger	134
5.5.2	Ergebnisse	136
5.5.3.	Schlussfolgerungen aus den Musterflächen	139
5.6	Bewertung der Festigungsmaßnahmen – Hinweise für die Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	140
5.6.1	Einschätzung der Festigungsmöglichkeiten	140
5.6.2.	Weiterer Entwicklungsbedarf	141
5.6.3	Erfahrungen mit ergänzenden Konservierungsmethoden und flankierenden Schutzmaßnahmen	142
5.6.4	Hinweise zur Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	146
6	ZUSAMMENFASSUNG	147
7	LITERATUR- UND QUELLENNACHWEIS	151
VERZEICHNISSE		
	Tabellen	160
	Diagramme	161
	Abbildungen und Tafeln	162

ANLAGEN

I	Beschreibung der ehemaligen Werksteinbrüche der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine und Referenzobjekte
II	Petrographische Einzelbeschreibung und Technische Kennwerte von thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen
III	Verwendungsbeispiele und Einbausituationen von Bauteilen aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen im Gebäudebestand
IV	Auswertung von Konservierungsmaßnahmen an ausgewählten Denkmälern aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in Thüringen

Liste der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Atm.	Atmosphäre
Äquiv.	Äquivalent
α	Alpha
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
cm ³	Kubikzentimeter
dyn.	dynamisch
E-Modul	Elastizitäts-Modul
etc.	et cetera, und so weiter
et al.	et alii, und andere
EP	Epoxid
Fa.	Firma
Fm	Formation
FTW	Frost-Tau-Wechsel
g	Gramm
Gew.	Gewicht
Gew.-%	Gewichtsprozent
GK	Geologische Karte
h	Stunde
hygr.	hygrisch, hygroskopisch
i.e.S.	im eigentlichen Sinne
i.w.S.	im weiteren Sinne
Jh.	Jahrhundert
kN	Kilonewton
K+	Kationen
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kmS	Sandstein des Mittleren Keupers
kuS	Sandstein des Unteren Keupers
KSE	Kieselsäureester
lat.	lateinisch
LF	Luftfeuchtigkeit
max.	maximal
min.	mindestens
M	Masse
M.-%	Masseprozent
m	Meter

m ²	Quadratmeter
mm	Millimeter
μ	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
n.b.	nicht bewertet, nicht bestimmt
N	Newton
NO	Nordosten
nm	Nanometer
ob.	oberer
o.g.	oben genannt
PMMA	Polymethylmethacrylat
PU	Polyurethan
p.	parallel (zur Schichtung)
R ²	Bestimmtheitsmaß
r.F.	relative Feuchte
s.	senkrecht (zur Schichtung)
SW	Südwesten
SiO ₂	Quarz, Siliziumdioxid
S-Wert	Sättigungswert
stat.	statisch
sog.	so genannt
t	Zeit
Tab.	Tabelle
Th.	Thüringer
TK	Topographische Karte
TK 25	Topographische Karte Maßstab 1:25000
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
tr.	trocken
u.a.	unter anderem
V	Volumen
Vol.	Volumen
Vol.-%	Volumenprozent
vgl.	vergleiche
WA	Wasseraufnahme
W _a	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck
W _{m,a}	massebezogene WA unter Atmosphärendruck
W _{m,v}	massebezogene WA unter Vakuum
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
√	Wurzel
Ø	Durchmesser
%	Prozent
>	größer als
<	kleiner als
⊥	senkrecht zur Schichtung
=	parallel zur Schichtung

Ankürzungen und Herkunft der untersuchten Proben:

FBB	Freienbessingen	Material aus dem großen Bruch
FBG	Freienbessingen	Abbruchmaterial Gut in Freienbessingen
ABR	Freienbessingen	Abbruchmaterial Kirche in Abtsbessingen
GRU	Kleinurleben	Material aus der Deponie Kleinurleben
KVF	Kleinvargula	Bauschutt aus dem Bruch
KVG	Kleinvargula	Bauschutt aus dem Bruch
TEN	Tennstedt	Material aus dem südlichen Bruch
SFA	Straussfurt	Abbruchmaterial aus Straußfurt
BKL	Backleben	Bauschutt aus dem Bruch
VOB	Vogelsberg	Material aus dem Bruch (untere Schichten)
OLH	Orlishausen	Abbruchmaterial Kirche Orlishausen
TEU	Teutleben	Material aus mittlerem Bruch (Felsen)
LBG	Lauterbach	Material aus dem Bruch
LBR	Lauterbach	Abbruchmaterial
HLB	Henningsleben	Abbruchmaterial
HLI	Henningsleben	Stein aus einer Stützmauer in Illeben
HBS	Herbsleben	Abbruchmaterial Schloss
SAL	Salomonsborn	Material aus Böschungsbereich der A 71
UKR	Erfurt	Abbruchmaterial Ursulinenkloster
UKG	Erfurt	Abbruchmaterial Ursulinenkloster
MVT	Markvippach	Abbruchmaterial aus Markvippach
MVG	Markvippach	Abbruchmaterial aus Markvippach
TLB	Thalborn	Abbruchmaterial aus Vippachedelhausen
TRB	Troechtelborn	Material aus dem Bruch
THR	Gotha	Abbruchmaterial aus dem Rathaus Gotha
THS	Gotha	Material aus der "Goldenen Schelle"
GTH	Gotha	Abbruchmaterial aus der Jacobstraße
ING/f	Ingersleben	Material aus dem Steinbruch (unterer Horizont)
ING/l	Ingersleben	Material aus dem Steinbruch (oberer Horizont)
KLM	Kornhochheim	loses Material aus "Klemms Mühle", Steilwand
RKH	Rockhausen	Material aus der Böschung der A4
HST	Hochstedt	Material aus dem südlichen Bruch
HFG	Hopfgarten	Abbruchmaterial aus Hopfgarten
ESL	Eischleben	Bauschutt aus dem Bruch
KHH	Kirchheim	Bauschutt aus dem Bruch
WLB	Werningsleben	Abbruchmaterial aus Werningsleben
MAR	Marisfeld	Abbruchmaterial aus der Kirchmauer
SWH	Schwickershausen	Abbruchmaterial aus Schwickershausen
BHR	Bedheim	Abbruchmaterial aus Bedheim (Schlossmauer)
BHG	Bedheim	Abbruchmaterial aus Bedheim (Schlossmauer)
HFA	Hindfeld	Material aus dem Steinbruch (Alter Bruch)
HFN	Milz-Hindfeld	Material aus dem Steinbruch (Neuer Bruch)
MLZ	Milz	Abbruchmaterial aus Milz
AH	Adelhausen	Bauschutt aus dem Bruch (Grabsteine)
SDA	Streuendorf	Abbruchmaterial aus Streuendorf

1 Einleitung

Lettenkeuper- und Schilfsandsteine, die in die geologischen Zeitabschnitte des Unteren bzw. Mittleren Keupers gehören, sind in Thüringen weit verbreitet und wurden seit dem Mittelalter bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts als Werk-, Mauer- und Bildhauersteine verwendet. So wurden u.a. der Herrenerker der Heldburg, die Epitaphe der Henneberger Grafen in Schleusingen (*Abbildung 1-1*) oder die Arkadenbögen des Schlosses Friedenstein in Gotha aus diesen Sandsteinen errichtet.



Abb. 1-1: Schleusingen, Grablege der „Henneberger“ in der Ägidienkapelle

Im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit wurde ich in den letzten 20 Jahren immer wieder mit Gebäuden und Kleindenkmalen konfrontiert, die starke Schäden an diesen Sandsteinen aufweisen. Typische Schadbilder sind, je nach Belastungsfall und Exposition: Absandungen, Abschuppungen und oberflächenparallele Schalenbildungen.

Die Witterungsbeständigkeit der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine wird in allen Beschreibungen als „eher mäßig“ dargestellt. Als Ursachen für diese Schäden werden das überwiegend tonige Bindemittel und der geringe Verfestigungsgrad der Sandsteine genannt (HOPPE 1939, KATZSCHMANN & LEPPER 1999). Bezüglich der Schadensabläufe und Verwitterungsmodelle wird angenommen, dass diese identisch mit denen anderer feinkörniger, tonig gebundener Sandsteine sind (BOHRMANN 1988, PATZELT 1996, WENDLER 1991).

Inzwischen ist es bei vielen denkmalpflegerisch wertvollen Gebäuden und plastischen Bildwerken in Thüringen zu erheblichen Substanz- und Formverlusten an den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen gekommen bzw. sind diese zu befürchten.

Seit Mitte der 1980er Jahre wurden konservatorische Anstrengungen unternommen, um die Sandsteine zu erhalten. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um Festigungsmaßnahmen in Verbindung mit konservatorischen Steinergänzungen, Schalen- und Rissanierungen.

In der Praxis erweisen sich viele dieser Konservierungsmaßnahmen als problematisch, häufig treten nach ihrer Durchführung erneut Schäden auf. Dabei führen veränderte ästhetische Ansprüche (z.B. Steinsichtigkeit statt verputzter oder gefasster Oberfläche), andere Nutzungsformen (z.B. Umnutzung von Kellergewölben) zu erheblichen Problemen. Die Erwartungshaltungen und Wünsche der Eigentümer und Nutzer in Hinblick auf Konservierungsmaßnahmen und deren Dauerhaftigkeit kollidieren häufig mit den tatsächlichen Möglichkeiten der Steinkonservierung.

Daraus ergibt sich die Forderung nach einer umfassenden Untersuchung der Eigenschaften der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine um wirkungsvolle Konservierungskonzepte erarbeiten zu können.

Bisher wurden nur für ausgewählte Sandsteine petrographische Merkmale und gesteins-technische Kenndaten bestimmt (HOPPE 1939, PATZELT 1996, KATZSCHMANN ET AL. 2006), systematische und vergleichende Untersuchungen liegen jedoch nicht vor. Das Gleiche trifft für die Auswertung von Konservierungsmaßnahmen zu, die bisher nur punktuell erfolgte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine umfassende Studie zu den Vorkommen und Eigenschaften der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine, verbunden mit Untersuchungen zu ihren Konservierungsmöglichkeiten.

Hierzu werden folgende Teilziele formuliert:

- Erfassung und Beschreibung der Vorkommen (Steinbrüche) in Thüringen
- Ermittlung und Vergleich der petrographischen Merkmale
- Ermittlung und Vergleich der technischen Eigenschaften
- Verwendung und Verwitterungsverhalten der Sandsteine im Gebäudebestand
- Auswertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen
- Untersuchungen zur Steinfestigung
- Hinweise zur Konservierung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine.

Alle Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen wurden, sind von mir selbst bzw. unter meiner Anleitung in den Laboren der Fachhochschule Erfurt durchgeführt worden. Ausnahmen hiervon werden im Text genannt.

2 Thüringische Steinbrüche im Lettenkeuper- und Schilfsandstein

2.1 Verbreitung, Stratigraphie und Faziesentwicklung des Keupers in Thüringen

Sedimente des Keupers treten in geschlossener Verbreitung im zentralen Teil des Thüringer Beckens über eine Fläche von ca. 90 km in West-Ost- und von ca. 55 km in Nord-Süd-Richtung und im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes über ca. 45 km von Nord-West nach Süd-Ost zwischen Mihla und Ohrdruff auf (*Abbildung 2-1*).

Südlich des Thüringer Waldes nimmt der Keuper den thüringischen Teil der Grabfeldmulde (Rentwerthausen-Heldburg) ein. Weitere Vorkommen sind als schmale Schollen an Störungszonen gebunden (DOCKER & SCHUBERT 2005).

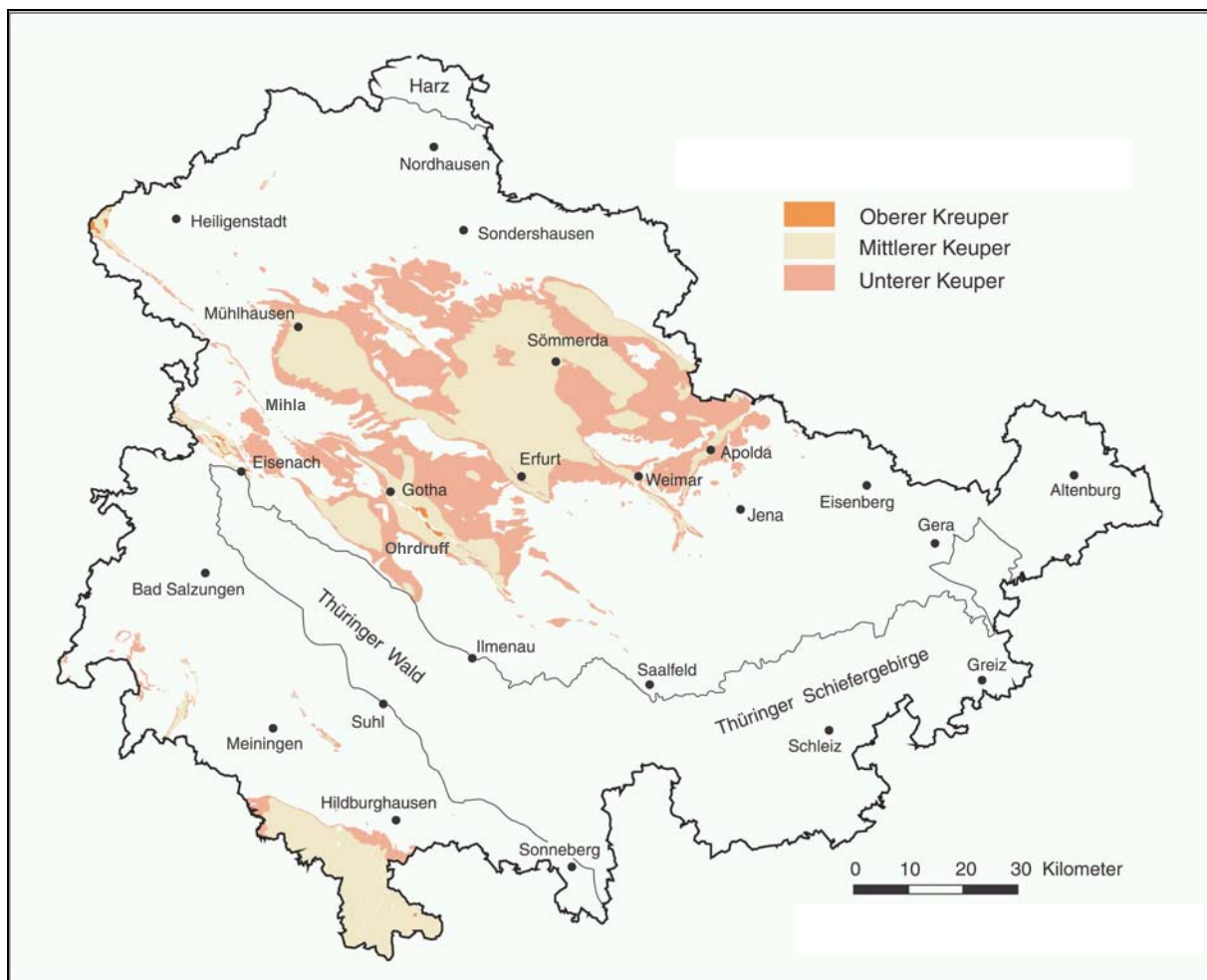


Abb. 2-1: Verbreitung des Keupers in Thüringen
(Grundlage: Geologische Übersichtskarte von Thüringen, TLUG Jena, 2002)

Die Gliederung des Keupers (*Tabellen 2-1 und 2-2*) erfolgt vorwiegend nach lithologischen Merkmalen, die sich an den stratigraphischen Vorgaben von SCHMID (1864, 1874), THÜRACH (1888/89), NAUMANN (1910, 1915), SCHÄFER (1918), vor allem aber RICHTER (1936) für den Unteren Keuper, SCHRÖDER (1938) für den Mittleren Keuper und PUTZER (1938) für den Oberen Keuper orientieren.

Jüngere stratigraphische Spezialbearbeitungen haben regional gültige Präzisierungen sowie weitere Untergliederungen erbracht (DOCKTER ET AL. 1974, 2003, BEUTLER & SCHUBERT 1987, KÄSTNER 1972, KLAUA 1969, BRUCKSCHEIN & SCHRÖDER 1994, SEELING & KELLNER 2002, SCHUBERT 2003, SEELING 2003).

Die neuesten Erkenntnisse zur Keuperstratigraphie in Thüringen haben DOCKTER & SCHUBERT (2005) im Rahmen einer durch die Deutsche Stratigraphische Kommission herausgegebenen Veröffentlichung (DSK 2005) zusammengefasst.

In der Profilabfolge lösen sich vertikal drei große Faziessysteme gegenseitig ab. Die Erfurt- (Lettenkeuper) und die Stuttgart-Formation (Schilfsandstein) sind als „nordischer“ Keuper vor allem durch fluviatile Ablagerungssysteme geprägt, die ihr Sandmaterial größtenteils vom Baltischen Schild im Norden bezogen und das Germanische Becken von NO nach SW in meist deutlich erosiven Einschnitten durchquerten. In der Exter-Formation (Rätkeuper) dominieren dagegen marine und küstennahe Milieus (BEUTLER ET AL. 1999).

Tab. 2-1: Stratigraphische Gliederung des Unteren Keupers (Erfurt-Formation) in Thüringen mit Kennzeichnung der Sandsteinhorizonte (nach DOCKTER & SCHUBERT 2005)

Unterer Keuper in Thüringen (Erfurt-Formation)	Zyklen	Informelle Gliederung nach Leithorizonten	Mächtigkeit
	4. (S3)- „Zyklus“	Grenzdolomit („-Region“)	1-5 m
		„Lichte Mergel“ mit tonig-schluffig-sandigem Basisglied	7-15 m
		lokal: Sandstein S 3 regional: 2 ZyklotHEME (S 3u, S 3o mit tonig- dolomitischen Mitteln)	3-7 m
	3. (S2)- „Zyklus“	Dolomithorizont mit „Dietendorfer Kalk“	0,4-1,5 m
		Sandstein S 2o (Hauptlettenkohlsandstein)	0-7 m
		Ton-/Schluffstein-Mittel mit Dolomitbänken S 2'd	0-10 m
		Sandstein S 2u (Hauptlettenkohlsandstein)	2-9 m
	2. (SX)- „Zyklus“	Dolomite D mit „Nauendorfer Kalk“	0-3 m
		„Rotmergelzone“	3-13 m
		Sandstein S X-Komplex (Mittlerer Lettenkohlsandstein) regional: 3 ZyklotHEME (SXo, SXm, SXu mit tonig-dolomitischen Mitteln)	5-14 m
		Dunkle, z.T. sandige Schluffsteine an Basis	1-3 m
		Horizont des Guthmannshäuser Kalks mit Kalkbank α	0,3-3 m
	1. (S1)- „Zyklus“	grüngraue (sandige) Ton/Schluffsteine	0-3 m
		Sandstein S 1-Komplex (Unterer Lettenkohlsandstein)	0-6 m

Unterer Keuper:

Mit dem Beginn des Unteren Keuper wechselte das Sedimentationsmilieu von marinen zu terrestrisch dominierten Bedingungen. Von Norden erreichten Flüsse das Germanische Becken. Dazwischen lagen flache, partiell überflutete Ebenen mit einzelnen Seen. Das Meer drang wiederholt von Süden in diesen Sedimentationsraum. Die Erfurt-Formation zeigt somit über das gesamte Verbreitungsgebiet hinweg komplexe Faziesmuster, in denen fluviatile (Sandsteine), limnische (Ton-/Siltsteine), deltaische („Lettenkohle“) und marine (Dolomite, Kalksteine) Ablagerungsräume in rascher Folge wechselten (BEUTLER ET AL. 1999).

Die Schichtenfolge im Unteren Keuper wird in Thüringen in die 4 Hauptzyklen Sandstein S1, Sandstein SX, Sandstein S2 und Sandstein S3 unterteilt (*Tabelle 2-1*).

Die für den Werksteinabbau interessanten Sandsteine des Unteren Keupers finden sich vor allem in Bereichen mit vorherrschender Rinnenfazies. Hier schnitten sich Flüsse über 10 m in die darunterliegenden Gesteine ein. Die in diesen Rinnen abgelagerten, in der Regel braunen bis graugrünen, auch rötlichen, feinkörnigen sog. **Lettenkeupersandsteine** wurden bei ausreichender Mächtigkeit sowohl im Thüringer Becken, als auch in Südthüringen als Werksteinmaterial gewonnen (KATZSCHMANN ET AL. 2006).

Mittlerer Keuper:

Mit dem Übergang zum Unteren Gipskeuper zeigte das Klima deutlich trockenere Verhältnisse. Im extrem flachen Germanischen Becken sedimentierten vor allem Ton- und Tonmergelsteine. Zeitweise existierten hypersalinare Binnenseen und Lagunensysteme, in denen auch Gips und Steinsalz ausgefällt wurden. Aufgrund dieser Bedingungen besteht der Mittlere Keuper in Thüringen im Wesentlichen aus Ton- und Gipsmergelsteinen. Sandsteine befinden sich überwiegend in der Stuttgart-Formation (Schilfsandstein-Folge) und untergeordnet in der Oberen Gipskeuper- und in der Steinmergelkeuper-Folge (*Tabelle 2-2*).

Während des Schilfsandsteins transportierten weiträumige Flusssysteme Material aus nördlicher Richtung in den flachen Sedimentationsraum des Beckens und lagerten Sandsteine und sandige Ton-/Siltsteine ab. Besonders im thüringischen Grabfeld ist der sog. **Schilfsandstein** in der Rinnenfazies (NO-SW-Strömungsbänder) kompakt, mit Bankdicken bis 25 m ausgebildet (SCHRÖDER 2002, SCHUBERT 2003). Im Thüringer Becken besteht der Schilfsandstein, mit Ausnahme des Stadtgebietes von Erfurt, dagegen meist aus mürben, tonigen Schluff- und Feinsandstein-Einschaltungen (DOCKTER 1995).

Oberer Keuper:

Ablagerungen der Exter-Formation sind in Thüringen auf wenige isolierte Vorkommen beschränkt. Die durch wiederholte marine Ingressionen beeinflusste terrestrisch-litorale Schichtenfolge setzt sich im Wesentlichen aus hellgrauen bis gelblichen Sandsteinen zusammen, in die in wechselnder Mächtigkeit und Menge dunkle, selten rötliche Tonsteine eingelagert sind (*Tabelle 2-2*). Die Rätsandsteine zählen zu den bedeutendsten Werksteinmaterialien Thüringens. Diese Sandsteine, die sich in ihrer Zusammensetzung und Verwitterungsbeständigkeit deutlich von den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen unterscheiden, sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Tab. 2-2: Stratigraphische Gliederung des Mittleren und Oberen Keupers in Thüringen mit Kennzeichnung des Schilfsandsteinhorizontes (nach DOCKTER & SCHUBERT 2005)

Untergruppe	Formation	Thüringer Becken		Thüringisches Grabfeld		Formation
Oberer Keuper	Exter-Formation	Oberer Rätkeuper	Triletes-Schichten		Rät-keuper	Exter-Formation
		Mittlerer Rätkeuper	contorta-Schichten			
		Unterer Rätkeuper	postera-Schichten			
Mittlerer Keuper	Arnstadt-Formation	Stein-mergel-keuper	Obere Bunte Mergel	Feuerletten	Sand-stein-keuper	Trossingen-Formation
				(Oberer) Burgsandstein		Löwenstein-Formation
			Graue Mergel	„Dolomitische Arkose“		
			Untere Bunte Mergel	bunte Mergel mit (oberem) Semionotus-sandstein		
	Weser-Formation	Oberer Gips-keuper	Heldburg-Gipsmergel			Mainhardt-Formation
			(Bunte) Schwellenburg-Mergel	Blasen- und Plattensandstein		Hassberge-Formation
			Lehrbergschicht Rote Wand (Berggipsschichten)			Steigerwald-Formation
	Stuttgart-Formation	Schilf-sandstein	Schilfsandstein			Stuttgart-Formation
	Grabfeld-Formation	Unterer Gips-keuper	Obere Gipsmergel	Obere Estherien-schichten	Gips-keuper	Grabfeld-Formation
			Graue Steinmergel-Schichten	Mittlere Estherien-schichten		
			Mittlere Gipsmergel	Untere Estherien-schichten		
				Corbula-Acrodus-Horizont		
				Obere Myophorien-schichten		
			Bleiglanzbank Untere Gipsmergel	Bleiglanzbank		

2.2 Lettenkeuper- und Schilfsandstein als Naturwerkstein - Abbausituation und Anwendungsbeispiele in Thüringen

2.2.1 Abbausituation und bisher bekannte Steinbrüche

Im Thüringer Becken und im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes wurden die Lettenkeupersandsteine vom Mittelalter bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts in einer Vielzahl kleinerer, meist nur örtlich relevanter Steinbrüche abgebaut (HOPPE 1939). Südlich des Thüringer Waldes wurden die Sandsteine in mehreren großen Steinbrüchen um Adelhausen und Bedheim bis Mitte der 1950er Jahre gebrochen (GRÄBE 1978). Ein letzter Abbaueversuch lebte Anfang der 1990er Jahre bei Bedheim kurzzeitig wieder auf (KATZSCHMANN & LEPPER 1999).

Werksteinbrüche im Schilfsandstein gab es nur im Raum Erfurt (Thüringer Becken) und südlich des Thüringer Waldes in Hindfeld, Milz und Streufdorf (Grabfeld). Während die Erfurter Steinbrüche schon lange nicht mehr existieren und sich die Vorkommen nur noch im Gebäudebestand manifestieren, waren die Steinbrüche in Südthüringen (außer Milz) noch bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts in Betrieb (HOPPE 1939).

Gegenwärtig wird in Thüringen kein Werkstein im Lettenkeuper- und Schilfsandstein abgebaut.

Während bis zum 19. Jahrhundert überwiegend eine Beschreibung lokaler Steinbrüche erfolgte (ROBACK 1840, KRÜGELSTEIN 1844, KÜHNE 1862, HELLMANN 1866), begann mit der Erstellung topographischer und geologischer Karten durch die Königlich Preußische Geologische Landesanstalt Ende des 19. Jh. auch eine Kartierung der Steinbrüche, unabhängig davon, ob sie noch in Betrieb waren oder nicht. Teilweise erfolgte in den dazugehörenden Erläuterungen auch ein Hinweis auf den Zustand der Steinbrüche, wenn sie für die Erfassung von Profilen interessant waren.

In den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden die aktiven Steinbrüche von der damaligen Vorgängerinstitution des Geologischen Landesdienstes systematisch erfasst (HOPPE 1939).

Diese Arbeiten waren Grundlage für eine Steinbruchkartei, die in den 1970er Jahren im Auftrag des damaligen Instituts für Denkmalpflege, Arbeitsstelle Erfurt, erstellt wurde (GRÄBE 1978). Darin waren für den Lettenkeupersandstein 33 Steinbrüche und für den Schilfsandstein 2 Steinbrüche verzeichnet, die sich auf dem Gebiet der ehemaligen Bezirke Erfurt, Gera und Suhl befanden.

Durch PATZELT (1995, 1996) erfolgte Mitte der 1990er Jahre die Besichtigung von 20 dieser Steinbrüche, eine kurze Darstellung ihres Zustandes und eine Lagebeschreibung.

2.2.2 Anwendungsbeispiele

Die Lettenkeuper- und Schilfsandsteine wurden aufgrund ihrer feinkörnigen Ausbildung und der guten Bearbeitbarkeit als Bau- und Bildhauerstein geschätzt. Weiterhin wurden sie für Brandmauern und Backöfen verwendet, da sie bei Feuereinwirkung nicht zerspringen (ROBACK 1840, WEISE 2002). Darüber hinaus wurden aus ihnen Tröge und Schleifsteine angefertigt (vgl. *Tafel 2-1 und 2-2*).



Entsprechend ihres geologischen Vorkommens finden sich die Sandsteine überwiegend im Gebäudebestand des zentralen Thüringer Beckens, im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes und im Bereich der Grabfeldmulde.

Lettenkeupersandsteine wurden nördlich des Thüringer Waldes z.B. in den Arkaden von Schloss Friedenstern und an mehreren Kirchen in Gotha (WEISE 2002), auf der Burg Gleichen bei Arnstadt (SEIPP 1935) in der Hospitalkapelle von Bad Tennstedt (SCHEIDEMANN 1994), als Plastiken im Barockgarten der Creuzburg bei Eisenach (BANKERT 1990), am Schloss und der Schlossbrücke von Herbsleben (FINDEISEN & WÖLKE 2003) in den Kellergewölben von Erfurt (HOPP 1995), an der Kirche von Ingersleben (PATZELT 1996) und als Epitaph an der Kirche in Straußfurt verbaut.

Südlich des Thüringer Waldes finden sie sich in der Schlossanlage und Kirche von Bedheim (WEISS 1990), an den Kirchen von Adelhausen, Eishausen (HOPPE 1939) und Gleicherwiesen (KATZSCHMANN ET AL. 2006).

Schilfsandsteine wurden im Stadtgebiet von Erfurt im Mauerwerk der mittelalterlichen Gebäude und Kellergewölbe verbaut. Beispiele sind die Alte Synagoge und das Steinhaus in der Horngasse.

In Südthüringen dominieren Bauwerke aus Schilfsandstein aufgrund der ungleich größeren Verbreitung im Grabfeld deutlich vor denen aus Lettenkeupersandstein. So wurden z.B. die Kirchen in Hindfeld und Milz (KATZSCHMANN ET AL. 2006), Schloss Glücksburg und Kirche in Römhild, Schloss Bibra, das Theater in Meinigen (WEISS 1990), die Epitaphen der Henneberger Grablege in Schleusingen (HOPP 1999) und die Kirche in Streufdorf (HOPPE 1939) aus diesem Sandstein errichtet.

	
<p>a: Freienbessingen, Taubenhaus (19.Jh.)</p>	<p>b: Gotha, Schlossarkaden (17.Jh.)</p>
	
<p>c: Kirchheim, Torhaus (16. Jh.)</p>	<p>d: Erfurt, Ausfachtung (18. Jh.)</p>
	
<p>e: Schwickershausen, Trog (19. Jh.)</p>	<p>f: Großurleben, Kellergewölbe (17. Jh.)</p>
	
<p>g: Bedheim, Schloss (16. Jh.)</p>	<p>h: Adelhausen, Kirche (15. und 18. Jh.)</p>

Tafel 2-1: Beispiele der Verwendung von Lettenkeupersandsteinen in Thüringen



a: Erfurt, Horngasse, Studentenburse (14. Jh.)



b: Milz, Kirche (16. Jh.)



c: Schleusingen, Henneberger Grablege (16. Jh.)



d: Schloss Bibra, Erker (16. Jh.)



e: Hindfeld, Scheune (19. Jh.)



f: Römhild, Schloss Glücksburg (15. Jh.)

Tafel 2-2: Beispiele der Verwendung von Schilfsandsteinen in Thüringen

2.3 Erfassung und Beschreibung der Steinbrüche

2.3.1 Allgemeiner Überblick

Aufbauend auf den Erkenntnissen von HOPPE (1939), GRÄBE (1978) und PATZELT (1996) erfolgte im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine erweiterte Bestandsaufnahme der Steinbrüche.

Die intensive Sichtung der geologischen und topographischen Karten Thüringens von 1854 bis 2002, einschließlich der dazu gehörenden Erläuterungen, führte zu der Erkenntnis, dass zusätzlich zu den 33 bekannten Vorkommen im Lettenkeupersandstein noch mindestens 34 weitere Steinbrüche existiert haben. Für den Schilfsandstein sind 8 Steinbrüche dokumentiert.

Darüber hinaus ist es sehr wahrscheinlich, dass es weitere, ältere Vorkommen in den geologisch relevanten Gebieten gegeben hat. Solche Steinbrüche sind vermutlich nur über heimatkundliche Recherchen oder gezielte Herkunftsrecherchen zu bestimmten Bauwerken zu finden. *Abbildung 2-2* zeigt eine auf Basis der Recherchen angefertigte Übersicht zu den Vorkommen früher vorhandener Steinbrüche im Lettenkeuper- und Schilfsandstein.

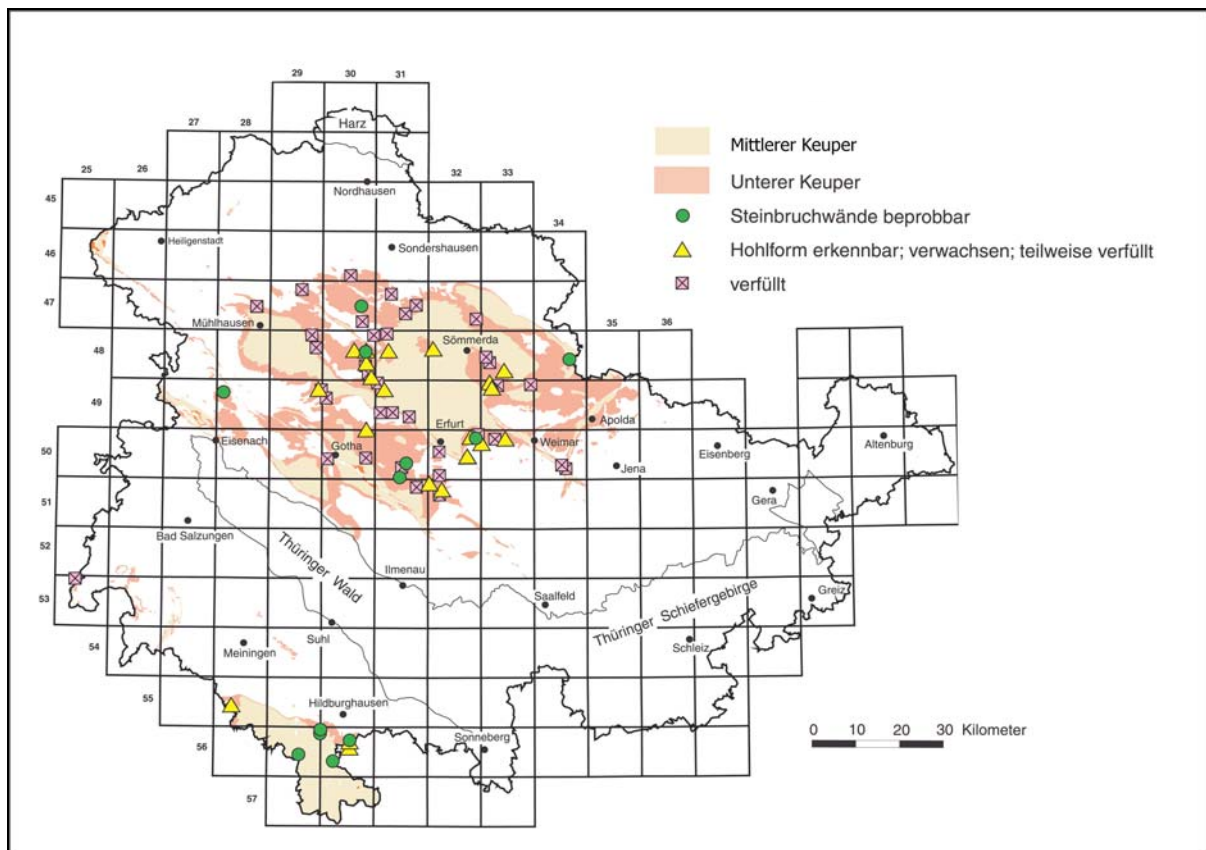


Abb. 2-2: Vorkommen und Zustand der früheren Steinbrüche im Lettenkeuper- und Schilfsandstein in Thüringen (Grundlage: Geologische Übersichtskarte von Thüringen mit Blattschnitt GK 25, TLUG Jena, 2002)

Bei der Erkundung der Steinbrüche stellte sich heraus, dass im Lettenkeupersandstein in lediglich 8 Vorkommen noch Teile der Bruchwände frei liegen. 24 Steinbrüche sind verfüllt oder verfallen, aber als Hohlform noch deutlich zu erkennen. 35 Steinbrüche sind vollständig eingeebnet. Ihre frühere Existenz ist nur noch durch die Literatur belegt.

Im Schilfsandstein sind 4 Steinbrüche in den Abbaugebieten Hindfeld-Milz und Streufdorf noch gut erhalten. 3 Brüche sind vollständig verfüllt. Für die ehemaligen Vorkommen in Erfurt sind in der Literatur mehrere Steinbrüche beschrieben (ROBACK 1840), von denen jedoch nur einer konkret lokalisiert werden konnte und der jetzt überbaut ist.

Die *Tafeln 2-3 und 2-4* zeigen Abbildungen der 12 Steinbrüche, in denen noch Teile der Bruchwände erhalten sind und Probeentnahmemöglichkeiten bestehen.



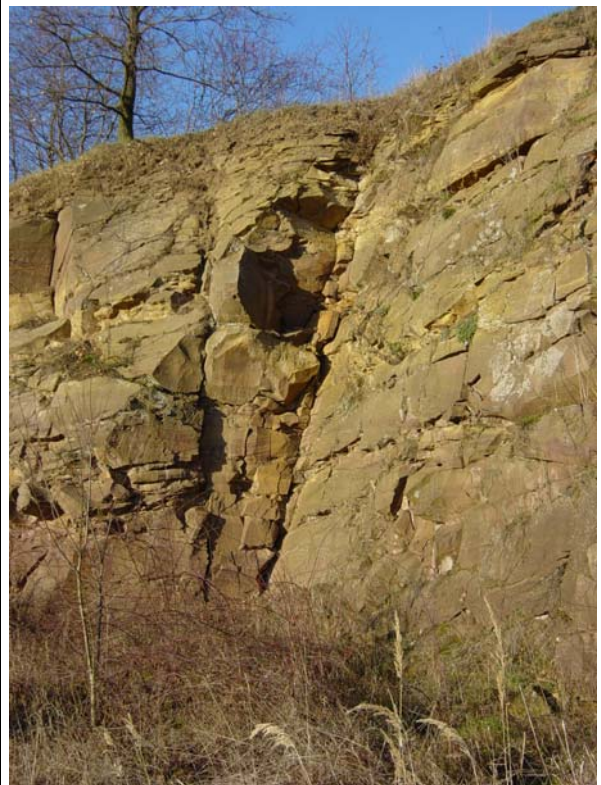
a: Steinbruch Freienbessingen (Th. Becken)



b: Steinbruch Tennstedt (Th. Becken)



c: Steinbruch Teutleben (Th. Becken)



d: Steinbruch Lauterbach (bei Mihla)

Tafel 2-3: Steinbrüche im Lettenkeupersandstein, in denen noch Teile der Bruchwände erhalten sind und eine Materialentnahme möglich ist



e: Steinbruch Ingersleben (bei Gotha)



f: Steinbruch Hochstedt (bei Erfurt)



g: Steinbruch Bedheim (Grabfeld)

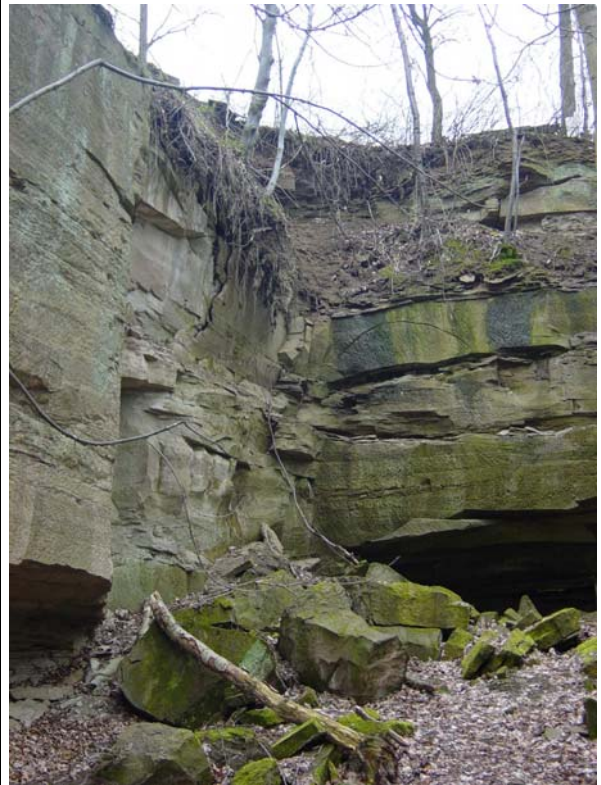


h: Steinbruch Adelhausen (Grabfeld)

Tafel 2-3 (Fortsetzung): Steinbrüche im Lettenkeupersandstein, in denen noch Teile der Bruchwände erhalten sind und eine Materialentnahme möglich ist



a: Steinbruch Hindfeld (Grabfeld)



b: Steinbruch Hindfeld-Milz (Grabfeld)



c: Steinbruch Streufdorf I (Grabfeld)



d: Steinbruch Streufdorf II (Grabfeld)

Tafel 2-4: Steinbrüche im Schilfsandstein in denen noch Teile der Bruchwände erhalten sind und eine Materialentnahme möglich ist

2.3.2 Beschreibung der Steinbrüche

Alle recherchierten Steinbrüche wurden erkundet, ihre Lage und Zugänglichkeit ermittelt, sowie ihr Zustand erfasst.

Von sämtlichen Vorkommen wurden Datenblätter angelegt, in denen zu jedem Steinbruch, auch wenn er als solcher nicht mehr zu erkennen ist, folgende Angaben enthalten sind:

- Topographische Übersichtskarte von Thüringen mit Blattschnitt GK 25 und Markierung des jeweiligen Ausschnittes
- Ausschnitt aus der Topographischen Karte (1:25000) mit Kennzeichnung des Steinbruchs
- Blattbezeichnung und -nummer der Topographischen Karte
- Koordinaten (Hoch- und Rechtswerte)
- Lagebeschreibung
- Probeentnahmemöglichkeit
- Zustand des Ausschlusses
- Geschichtliche Entwicklung
- Angaben zum Vorkommen
- Angaben zum Stein
- Verwendungsbeispiele
- Literatur / Quellen / Hinweise

Diese Angaben wurden, sofern möglich, ergänzt durch Fotos vom Steinbruch und von Verwendungsbeispielen. Die Datenblätter können dem **Anhang I** entnommen werden. Zusammenfassend werden nachfolgend in den *Tabellen 2-3 und 2-4* alle Steinbrüche aufgelistet. Neben dem Standort werden Blattnummer und -bezeichnung der Topographischen Karte und die Lagekoordinaten angegeben. Der Zustand des jeweiligen Steinbruchs wird durch Farbwerte gekennzeichnet.

Ergänzt werden die Tabellen durch die Angabe der alten Erfassungsnummer nach GRÄBE (1978) und der im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgenommenen neuen Nummerierung, die sich an der Nomenklatur der topografischen Karte orientiert.

Tab. 2-3: Steinbrüche im Lettenkeupersandstein

Standort	TK 25	Topographische Karte	Lagekoordinaten		Zustand	Ordnung alt	Ordnung neu
			Rechtswert	Hochwert			
Steinbrüche im Lettenkeupersandstein nördlich des Thüringer Waldes							
Reiser	4728	Mühlhausen	4392262,32	5680223,29			4728-1
Freienbessingen	4730	Ebeleben	4415120,00	5679720,00		1.12.01.	4730-1
Mittelsömmern	4730	Ebeleben	4415520,00	5676630,00			4730-2
Topfstedt	4731	Greußen	4427500,00	5680000,00			4731-1
Clingen	4731	Greußen	4425170,00	5678260,00			4731-2
Otterstedt	4731	Greußen	4421910,00	5682710,00			4731-3
Bothenheiligen	4829	Bad Langensalza	4404380,00	5673630,00			4829-1
Großwelsbach	4829	Bad Langensalza	4404870,00	5670920,00			4829-2
Großwelsbach	4829	Bad Langensalza	4405160,00	5670790,00			4829-2
Haussömmern	4830	Großvargula	4418090,00	5673550,00		1.12.02.	4830-1
Großurleben	4830	Großvargula	4413275,00	5670000,00		1.12.03.	4830-2
Tennstedt	4830	Großvargula	4415750,00	5669750,00			4830-3
Tennstedt	4830	Großvargula	4415940,00	5669690,00			4830-3
Kleinvargula	4830	Großvargula	4415925,00	5667175,00		1.12.04.	4830-4
Kleinvargula	4830	Großvargula	4416090,00	5666740,00			4830-4
Herbsleben-Großvargula	4830	Großvargula	4416700,00	5664900,00			4830-5
Herbsleben SW	4830	Großvargula	4417050,00	5664000,00			4830-6
Kutzleben	4831	Gebesse	4420900,00	5673730,00		1.12.05.	4831-1
Kleinballhausen	4831	Gebesse	4420970,00	5670020,00		1.12.06.	4831-2
Straußfurt	4832	Sömmerda	4430750,00	5670250,00		1.12.07.	4832-1
Vogelsberg	4833	Kölleda	4446400,00	5665150,00		1.12.08.	4833-1
Orlishausen	4833	Kölleda	4443540,00	5667160,00			4833-2
Orlishausen	4833	Kölleda	4442820,00	5668390,00			4833-2
Teutleben	4834	Buttstedt	4460850,00	5667300,00		1.12.09.	4834-1
Lauterbach	4928	Mihla	4384421,96	5661006,34		1.12.10.	4928-1
Henningsleben	4929	Behringen	4405380,00	5661290,00			4929-1
Henningsleben	4929	Behringen	4406340,00	5661300,00			4929-1
Eckardsleben	4930	Gräfentonna	4407350,00	5659520,00			4930-1
Herbsleben "Heimliches Gericht"	4931	Erfurt NW	4418700,00	5662830,00		1.12.11.	4931-1
Dachwig	4931	Erfurt NW	4420000,00	5661275,00		1.12.12.	4931-2
Kleinfahner	4931	Erfurt NW	4419500,00	5656125,00		1.12.13.	4931-3
Witterda	4931	Erfurt NW	4421900,00	5656200,00		1.12.14.	4931-4
Tiefthal	4931	Erfurt NW	4425540,00	5654920,00		1.12.15.	4931-5
Dielsdorf	4933	Weimar NW	4443270,00	5662530,00		1.12.16.	4933-1
Markvippach	4933	Weimar NW	4443670,00	5661420,00		1.12.17.	4933-2
Thalborn	4933	Weimar NW	4445325,00	5661800,00		1.12.18.	4933-3
Haindorf	4933	Weimar NW	4452500,00	5661900,00		1.12.19.	4933-4
Tröchtelborn	5030	Gotha	4415850,00	5652120,00		1.12.20.	5030-1
Gotha "Toller Hund"	5030	Gotha	4407570,00	5645790,00		1.12.21.	5030-2
Gotha "Rote Wand"	5030	Gotha	4407600,00	5645750,00			5030-2
Tüttleben	5030	Gotha	4415890,00	5645770,00			5030-3

	Bruch auflässig, Bruchwand z.T. sichtbar		Bruch verfallen, verfüllt, Hohlform erkennbar		Bruch vollständig verfüllt
--	---	--	--	--	----------------------------

Tab. 2-2 (Fortsetzung): Steinbrüche im Lettenkeupersandstein

Standort	TK 25	Topographische Karte	Lagekoordinaten		Zustand	Ordnung alt	Ordnung neu
			Rechtswert	Hochwert			
Steinbrüche im Lettenkeupersandstein nördlich des Thüringer Waldes (Fortsetzung)							
Ingersleben	5031	Erfurt W	4424680,00	5644440,00		1.12.22.	5031-1
Neudietendorf	5031	Erfurt W	4423800,00	5643800,00		1.12.23.	5031-2
Kornhochheim	5031	Erfurt W	4423120,00	5641270,00		1.12.24.	5031-3
Vieselbach	5032	Erfurt	4440800,00	5650900,00		1.12.25.	5032-1
Hochstedt	5032	Erfurt	4440120,00	5649860,00		1.12.26.	5032-2
Hochstedt	5032	Erfurt	4439960,00	5650101,00			5032-2
Hochstedt	5032	Erfurt	4439980,00	5649980,00			5032-2
Mönchenholzhausen	5032	Erfurt	4441230,00	5648820,00			5032-3
Niedernissa	5032	Erfurt	4438080,00	5646060,00			5032-5
Rockhausen	5032	Erfurt	4432030,00	5641790,00			5032-6
Hopfgarten SW	5033	Weimar	4444500,00	5649800,00		1.12.27.	5033-1
Hopfgarten SE	5033	Weimar	4446500,00	5649750,00		1.12.28.	5033-2
Magdala	5034	Weimar O	4460150,00	5643000,00		1.12.29.	5034-1
Mellingen	5034	Weimar O	4459190,00	5643800,00			5034-2
Eischleben	5131	Arnstadt	4429590,00	5640020,00			5131-1
Molsdorf	5131	Arnstadt	4427100,00	5639350,00			5131-2
Kirchheim	5132	Marlishausen	4432259,00	5638600,00		1.12.30.	5132-1
Elxleben	5132	Marlishausen	4432175,00	5637400,00		1.12.31.	5132-2
Steinbrüche im Lettenkeupersandstein südlich des Thüringer Waldes							
Marisfeld	5429	Themar	n.b.	n.b.			5429-1
Schwickershausen	5528	Rentwerthausen	4385255,29	5591021,61			5528-1
Behrungen	5528	Rentwerthausen	4392296,97	5586703,85			5528-2
Bedheim	5629	Römhild	4404650,00	5584770,00			5629-1
Bedheim	5629	Römhild	4404775,00	5584800,00		1.12.32.	5629-1
Bedheim	5629	Römhild	4404850,00	5585050,00			5629-1
Adelhausen N	5630	Rodach	4411250,00	5582425,00		1.12.33.	5630-1
Adelhausen N	5630	Rodach	4411220,00	5582400,00			5630-1
Adelhausen S	5630	Rodach	4411200,00	5581050,00			5630-2

Tab. 2-4: Steinbrüche im Schilfsandstein

Standort	TK 25	Topographische Karte	Lagekoordinaten		Zustand	Ordnung alt	Ordnung neu
			Rechtswert	Hochwert			
Steinbrüche im Schilfsandstein nördlich des Thüringer Waldes							
Erfurt	5032	Erfurt	n.b.	n.b.			5032-4
Steinbrüche im Schilfsandstein südlich des Thüringer Waldes							
Römhild	5629	Römhild	4397600,00	5585500,00			
Hindfeld	5629	Römhild	4397840,00	5582610,00		1.13.01	5629-2
Milz-Hindfeld	5629	Römhild	4397400,00	5582790,00			5629-3
Milz E	5629	Römhild	4397840,00	5583050,00			
Milz SE	5629	Römhild	4397875,00	5582625,00			
Streuendorf	5630	Rodach	4407590,00	5580440,00			5630-3
Streuendorf	5630	Rodach	4407625,00	5580500,00		1.13.02.	5630-3

	Bruch auflässig, Bruchwand z.T. sichtbar		Bruch verfallen, verfüllt, Hohlform erkennbar		Bruch vollständig verfüllt
--	---	--	--	--	----------------------------

3 Petrographische Beschreibung und technische Eigenschaften

3.1 Bisherige Kenntnisse

Während Stratigraphie und Faziesentwicklung des Keupers in Thüringen umfangreich beschrieben sind, gibt es nur wenige, relativ allgemein gehaltene, Angaben zur Petrographie und den gesteintechnischen Eigenschaften der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine.

3.1.1 Petrographie

Erste Beschreibungen der Sandsteine sind in den Erläuterungen zu den Geologischen Karten enthalten, die Ende des 19. Jh. im Auftrag der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt erstellt wurden. So kennzeichnen KAISER & NAUMANN (1905) den Lettenkeupersandstein im Raum Langensalza als Sandstein, mit zahlreichen „Equiseten“ (Schachtelhalmen) und anderen Pflanzenresten, der dem Schilfsandstein „zum Verwechseln“ ähnlich ist. Ähnliche Aussagen treffen SCHMID (1872, 1873), NAUMANN (1905), SPEYER (1883), SCHMID & ZIMMERMANN (1884) für weitere Sandsteine im Bereich des Thüringer Beckens und NAUMANN (1904) für den Sandstein von Lauterbach, im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes.

Die Lettenkeupersandsteine in Südthüringen (Bedheim, Adelhausen) werden als graugrün, gelblich, auch braunrot, feinkörnig und glimmerreich, mit toniger Bindung und „nicht selten“ kohligen Pflanzenresten (Equisetum und Calamites) beschrieben (PRÖSCHOLDT 1888, 1895). Das Gleiche gilt auch für die südthüringischen Schilfsandsteine in Hindfeld und Streufdorf. WEISS (1990) betont nochmals die Ähnlichkeit zwischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen. Er schreibt, dass „der Schilfsandstein von Hindfeld kaum vom hellen Bedheimer Lettenkeupersandstein zu unterscheiden ist. Lediglich hinsichtlich Farbe, Festigkeit und Lagerung zeigt der Schilfsandstein homogenere Ausbildung“.

In einer durch HOPPE (1939) veröffentlichten Darstellung der Naturwerksteine Thüringens, werden ausgewählte Vorkommen (Lettenkeupersandsteine aus Lauterbach und Bedheim, Schilfsandstein aus Streufdorf) auch mikroskopisch betrachtet. Übereinstimmend werden die Steine als feinkörnig und glimmerreich (heller Glimmer) beschrieben. Der Mineralbestand ist gekennzeichnet durch Quarz, Feldspat (ca. 1/3 des Quarzanteils) und Gesteinsbruchstücke. Die Einzelkörner sind meist länglich, eckig bis kantengerundet, die Sortierung mäßig bis gut. Die Sandsteine besitzen eine tonige oder tonig-ferritische Bindung, selten ist eine sekundäre Einkieselung erfolgt. Das Bindemittel liegt als Kornhülle und Zwickelfüllung vor, direkte Kornkontakte sind selten. GRÄBE (1978) und FISCHER (1999) weisen darüber hinaus auch auf gelegentliche karbonatische Bindemittelanteile hin.

Weitere petrographische Beschreibungen, z.T. mit Dünnschliffuntersuchungen erfolgten für die Lettenkeupersandsteine aus Ingersleben (MÄDLER 1998, PATZELT 1996), Teutleben (FISCHER 1999), Bedheim (PATZELT 1995, FISCHER 1999, WEISS 1990) und Adelhausen (PATZELT 1995). Von den Schilfsandsteinen wurde der Hindfelder Sandstein umfassend beschrieben (PATZELT 1996, WEISS 1990). Die Untersuchung dieser Sandsteine bestätigte im Wesentlichen die o.g. Einschätzung von HOPPE (1939).

3.1.2 Technische Eigenschaften

Die technischen Eigenschaften wurden für ausgewählte Sandsteine (Lauterbach, Bedheim, Adelhausen und Streufdorf) ansatzweise durch HOPPE (1939) beschrieben. Er nennt die Festigkeit der „Keupersandsteine“ eher „mäßig“ (30 bis 40 N/mm²), wobei die roten Varietäten wegen der „Imprägnierung der tonigen Bindemasse mit Brauneisen“ etwas fester und witterungsbeständiger sein sollen. Sowohl die Lettenkeuper- als auch die Schilfsandsteine bedürfen laut seiner Einschätzung einer strengen Auswahl und der Prüfung im Einzelfall, bevor sie als Werkstein verwendet werden können.

Spätere Untersuchungen beinhalteten die Erfassung weiterer technischer Kennwerte (Wasseraufnahme, Porosität, Festigkeitskennwerte, hygri-sche Dehnung u.a.) für folgende Sandsteine: Adelhausen und Streufdorf (PATZELT 1995), Ingersleben, Bedheim und Hindfeld (WEISS 1990, PATZELT 1996; KATZSCHMANN ET AL. 2006), Erfurt und Gotha (HOPP 1995; HOPP & ZIER 2005).

Eine an der Fachhochschule Erfurt erstellte Diplomarbeit (WESTENBERGER 1999), die u.a. eine Gegenüberstellung der Kennwerte von thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen mit denen aus Nord- und Süddeutschland beinhaltete, macht deutlich, dass die thüringischen Sandsteine eine vergleichsweise hohe Porosität und Wasseraufnahme und im Schnitt um ca. ein Drittel niedrigere Festigkeiten aufweisen (*Tabelle 3-1*).

Tab. 3-1: Technische Eigenschaften von Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Deutschlands (ALFES ET AL. 1992, GRIMM 1990, HOPP & ZIER 2008, MEINHARDT- DEGEN 2005, PATZELT 1996, VISSER & GERVAIS 2007)

Herkunft des Sandsteins	Stratigraphie	Rohdichte [g/cm ³]	Reindichte [g/cm ³]	Gesamt-porosität [Vol. %]	Atm. Wasser-aufnahme [Gew. %]	Sättigungs-grad [-]	Druck-festigkeit [N/mm ²]	Biegezug-festigkeit [N/mm ²]	E-Modul dyn./stat. [kN/mm ²]	Hygrische Dehnung [mm/m]
BAYERN										
Schleerieth	kuS	2.29	2.72	15.70	5.10	0.74	p. 50.0	3.6	7.2 / 20.1	p. 0,44
							s. 57.5	2.2	5.0 / 14.3	s. 1,10
Sand	kmS	2.13	2.66	19.99	6.45	0.69	p. 37.0	2.5	3.6 / 12.5	p. 1,01
							s. 48.0	2.0	3.6 / 11.2	s. 1,66
WÜRTTEMBERG										
Neuenstein		2.06	2.66	22.65	7.20	0.66	-	-	-	
Freudenbach rot	kuS	2.13	2.86	20.73	6.83	0.70	p. 33.9	4.3	- / 10.6	
							s. 56.5	6.7	-	
Renfrizhausen	kuS	2.20	2.68	18.01	5.64	0.69	-	-	-	
Maulbronn	kmS	2.08	2.68	20.20	7.26	0.68	p. 36.0	2.6	4.9 / 10.1	p. 0,33
							s. 45.0	1.9	5.9 / 10.2	s. 0,47
Pfaffenhofen	kmS	2.04	2.66	23.49	7.49	0.65	p. 40.2	5.1	10.5 / 13.4	
							s. 44.8	7.2	9.8 / 10.9	
Mühlbach	kmS	2.15	2.65	18.98	5.97	0.67	p. 55.0	4.7	10.6 / 3.3	
							s. 56.0	8.2	8.6 / 10.5	
Heilbronn	kmS	2.08	2.67	22.24	7.31	0.68				0,13
Weil, gelb	kmS	2.15	2.63	18.10	7.38	0.70	p. 47.1	-	8.4 / 7.3	
							s. 52.0	4.8	8.9 / 10.4	
WESTFALEN										
Schötmar	kmS	2.40	2.67	10.11	3.42	0.81	-	-	-	0,8-1,1
NIEDERSACHSEN										
Melle	kmS	2.47	2.68	8.00	3,4-5,4	0.95	77-141	-	-	0,5-1,7
Hildesheim	kmS				10-11		37-39			1,6-2,6
THÜRINGEN										
Ingersleben	kuS	1.93	2.73	29.20	10.20	0.80	p. 27.0	3.0	6.3 / -	0,33
							s. 32.6	3.0		
Gotha	kuS	1.99	2.70	26.35	10.43	0.82	s. 36.6	2.5	8.9 / 6.6	
Erfurt	kuS	1,93	2.62	26.33	10.54	0.83	p. 22.8	2.0	4.8 / 3.9	
							s. 26.4	2.6	6.8 / 5.3	
Hindfeld	kmS	2.05	2.68	23.40	7.60	0.86	p. 43.1	4.3	9.4 / -	0,89
							s. 46.1	4.7		

3.2 Untersuchungen zur Petrographie und den technischen Eigenschaften der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

3.2.1 Herkunft und Aufbereitung des Probematerials

Als Material für die petrographischen und gesteintechnischen Untersuchungen wurden Gesteinsproben aus den ehemaligen Steinbrüchen verwendet. Die Entnahme der Sandsteine erfolgte in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit und nicht in bestimmten Schichtungen oder nach stratigraphischen Gesichtspunkten, da in den meisten Steinbrüchen nur noch Teilbereiche des früheren Aufschlusses vorhanden waren.

Bei der Gesteinsentnahme in den Steinbrüchen erfolgte die Auswahl nach optischen Kriterien und mittels Perkussionsprobe. Es wurde nur Material in Form von größeren Bruchstücken entnommen, das für die Verwendung als Werkstein geeignet erschien. Vor Ort wurden an den Proben die Schichtungsebenen markiert.

Bei verfüllten oder verfallenen Steinbrüchen erfolgte eine Materialentnahme aus dem Gebäudebestand der jeweils umliegenden Ortschaften. Dabei wurde unterstellt, dass (wegen der Transportwege) bis zum Ende des 19. Jahrhunderts die Baumaterialien vorwiegend aus lokalen Bezugsquellen stammten. Bei dem Probematerial handelte es sich um Werk- und Bruchsteine aus Gebäudeabrissen. Es wurde darauf geachtet, nur unverwittertes Steinmaterial zu entnehmen.

Die Art der Materialentnahme gestattet keine stratigraphische Zuordnung der Proben zu Horizonten innerhalb der jeweiligen Gesteinsgliederung. In Anbetracht der Vielzahl der Proben ist es jedoch möglich, einen Überblick über grundlegende Eigenschaften der in Thüringen als Werkstein verwendeten Lettenkeuper- und Schilfsandsteine zu bekommen.

In *Tabelle 3-2* erfolgt die Auflistung der entnommenen Proben. Die Anordnung erfolgt von Norden nach Süden, d.h. Probe FBB liegt am nördlichsten, Probe SDA am südlichsten. Diese Reihenfolge wird für sämtliche tabellarischen Darstellungen und Diagramme übernommen.

Das Probematerial wurde entsprechend der Prüfanforderungen zu Würfeln oder Prismen nass gesägt. Teilweise erfolgte auch eine Herstellung von Steinscheiben aus Bohrkernen. Die Schichtungsebenen wurden entsprechend der Markierung an der Blockware gekennzeichnet, da an den kleineren Proben die Gesteinsschichtung oftmals nicht mehr zu erkennen war. Es erfolgte eine Trocknung der Proben bei 60 °C und eine anschließende Lagerung im Klimaschrank bei 20 °C und 20 % r.F. bis zur Massekonstanz. Die Weiterbehandlung erfolgte entsprechend der Anforderungen der jeweiligen Prüfverfahren.

Tab. 3-2: Verzeichnis und Herkunft des Probematerials

Lage	Probe	Standort	Herkunft der Probe	Stratigraphie
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	Freienbessingen	Material aus dem großen Bruch	kuS
	FBG	Freienbessingen	Abbruchmaterial Gut in Freienbessingen	kuS
	ABR	Freienbessingen	Abbruchmaterial Kirche in Abtsbessingen	kuS
	GRU	Kleinurleben	Material aus der Deponie Kleinurleben	kuS
	KVF	Kl. Vargula	Bauschutt aus dem Bruch	kuS
	KVG	Kl. Vargula	Bauschutt aus dem Bruch	kuS
	TEN	Tennstedt	Material aus dem südlichen Bruch	kuS
	SFA	Straussfurt	Abbruchmaterial aus Straußfurt	kuS
	BKL	Backleben	Bauschutt aus dem Bruch	kuS
	VOB	Vogelsberg	Material aus dem Bruch (untere Schichten)	kuS
	OLH	Orlishausen	Abbruchmaterial Kirche Orlishausen	kuS
	TEU	Teutleben	Material aus mittlerem Bruch (Felsen)	kuS
	LBG	Lauterbach	Material aus dem Bruch	kuS
	LBR	Lauterbach	Abbruchmaterial	kuS
	HLB	Henningsleben	Abbruchmaterial	kuS
	HLI	Henningsleben	Stein aus einer Stützmauer in Illeben	kuS
	HBS	Herbsleben	Abbruchmaterial Schloss	kuS
	SAL	Salomonsborn	Material aus Böschungsbereich der A 71	kuS
	UKR	Erfurt	Abbruchmaterial Ursulinenkloster	kuS/kmS ?
	UKG	Erfurt	Abbruchmaterial Ursulinenkloster	KuS/kmS ?
	MVT	Markvippach	Abbruchmaterial aus Markvippach	kuS
	MVG	Markvippach	Abbruchmaterial aus Markvippach	kuS
	TLB	Thalborn	Abbruchmaterial aus Vippachedelhausen	kuS
	TRB	Troechtelborn	Material aus dem Bruch	kuS
	THR	Gotha	Abbruchmaterial aus dem Rathaus Gotha	kuS
	THS	Gotha	Abbruchmaterial aus der "Goldenen Schelle"	kuS
	GTH	Gotha	Abbruchmaterial aus der Jacobstraße Gotha	kuS
	ING/f	Ingersleben	Steinbruch, Material aus dem unteren Horizont	kuS
	ING/I	Ingersleben	Steinbruch, Material aus dem oberen Horizont	kuS
	KLM	Kornhochheim	loses Material aus "Klemms Mühle", Steilwand	kuS
	RKH	Rockhausen	Material aus der Böschung der A4	kuS
	HST	Hochstedt	Material aus dem südlichen Bruch	kuS
	HFG	Hopfgarten	Abbruchmaterial aus Hopfgarten	kuS
	ESL	Eischleben	Bauschutt aus dem Bruch	kuS
	KHH	Kirchheim	Bauschutt aus dem Bruch	kuS
	WLB	Werningsleben	Abbruchmaterial aus Werningsleben	kuS
Südlich des Th. Waldes	MAR	Marisfeld	Abbruchmaterial aus der Kirchmauer	kuS
	SWH	Schwickershausen	Abbruchmaterial aus Schwickershausen	kuS
	BHR	Bedheim	Abbruchmaterial aus Bedheim (Schlossmauer)	kuS
	BHG	Bedheim	Abbruchmaterial aus Bedheim (Schlossmauer)	kuS
	HFA	Hindfeld	Material aus dem Steinbruch (Alter Bruch)	kmS
	HFN	Milz-Hindfeld	Material aus dem Steinbruch (Neuer Bruch)	kmS
	MLZ	Milz	Abbruchmaterial aus Milz	kmS
	AH	Adelhausen	Bauschutt aus dem Bruch (Grabsteine)	kuS
	SDA	Streuendorf	Abbruchmaterial aus Streuendorf	kmS

3.2.2 Untersuchungen und Prüfverfahren

An den entnommen Proben erfolgten Untersuchungen zur Petrographie und den gesteintechnischen Eigenschaften, um die in Thüringen ehemals abgebauten Lettenkeuper- und Schilfsandsteine charakterisieren und beschreiben zu können.

Es kamen im Wesentlichen die für Natursteinprüfungen üblichen DIN-Verfahren zur Anwendung, wobei besonderer Wert auf die von SNETHLAGE & WENDLER (1995) empfohlenen Untersuchungen gelegt wurde.

Tabelle 3-3 gibt einen Überblick zu den durchgeführten Untersuchungen, Prüfverfahren sowie zu Art und Anzahl der Proben. Eine Erläuterung zur Methodik und die Interpretation der Messergebnisse erfolgt in der jeweiligen Ergebnisauswertung.

Tab. 3-3: Angewandte Untersuchungen, Prüfverfahren, Art und Anzahl der Proben

Untersuchung	Prüfverfahren/ Geräte	Art, Anzahl und Präparation der Proben
Untersuchungen zu den petrographischen Eigenschaften		
Reindichte	nach DIN EN 1936 Verfahren A	je 3 Pulverproben von ca. 10 cm ³
Rohdichte, Gesamtporosität	nach DIN 52102 Verfahren VB	je 5 Würfel 50mm x 50mm x 50mm
Porenverteilung, offene Porosität, Spezifische Oberfläche	Quecksilberporosimetrie nach DIN 66 133, Porosimeter Fa. Micromeritics Autopore III	je 1 allseitig gebrochenes Gesteinsstück von ca. 1 cm ³
Mineralbestand und Gefügemerkmale	Dünnschliffmikroskopie Mikroskop Olympus BX 60	je 1 Dünnschliff Porenraum blau eingefärbt
Qualitativer Nachweis von Mg ₂ CO ₃	Schnelltest mit Auquamerk der Fa. MERCK	je 1 Pulverprobe von ca. 10 g
Untersuchungen zu den hygrischen Kennwerten		
Wasseraufnahme, Sättigungswert	nach DIN 52 103	je 5 Würfel 50mm x 50mm x 50mm
Kapillarer Wasser- aufnahmekoeffizient	nach DIN EN 1925	je 3 Prismen 40mm x 40mm x 160mm
Hygroskopische Wasseraufnahme	Ermittlung der Masseänderung	je 3 Würfel 50mm x 50mm x 50mm
Hygrische Dehnung	BAM-Setzungsdehnungsmesser (Fa. Pfenderer) Abstand der Messpunkte 40 mm	Prüfung bei 25% und 95% r.F.
Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl	nach DIN EN ISO12572 Prüfbedingung B (23-0/85)	je 3 Scheiben Durchmesser 70mm, Höhe 30mm
Untersuchungen zu den Festigkeitseigenschaften		
Druckfestigkeit	nach DIN EN 1926	je 3 Würfel 40mm x 40mm x 40mm. Prüfung bei 20% und 65% r.F. und wassergesättigt
Biegezugfestigkeit	nach DIN EN 12372	je 3 Prismen 40mm x 40mm x 160mm. Prüfung bei 20% r.F. und wassergesättigt
Statischer E-Modul	nach DIN 18 555	
Dynamischer E-Modul	Ultraschalllaufzeitmessung Prüfgerät UGS 20	je 3 Prismen 40mm x 40mm x 160mm. Prüfung bei 20% r.F.
Untersuchungen zum Verwitterungsverhalten		
Frost-Tau-Wechsel- Untersuchung	nach DIN 52 104 (Verfahren A)	je 3 Würfel 40mm x 40mm x 40mm

3.3 Petrographische Beschreibung

Die petrographische Beschreibung der Steine erfolgt in Anlehnung an die Darstellung im Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der BRD (GRIMM 1990). Es wurden nur qualitative Beschreibungen, ohne feinmineralogische oder geologisch-diagenetische Auswertungen vorgenommen. Im Wesentlichen wird auf die Eigenschaften eingegangen, die für die Charakterisierung der Steine erforderlich und für die Gesteinsverwitterung sowie die Steinkonservierung relevant sind.

3.3.1 Beschreibung der einzelnen Sandsteine

Für jeden Sandstein erfolgt eine makroskopische Beschreibung und die Auswertung eines Dünnschliffs. Die Daten werden in eine Kartei aufgenommen, in der sämtliche untersuchten Steine steckbriefartig dargestellt sind und die sich im **Anhang II** befindet.

Der makroskopische Überblick beinhaltet folgende Angaben:

- Herkunft der Probe, Abbauort
- Geologisches Alter, Kurzbeschreibung, Klassifikation
- Abbildung einer Gesteinsplatte (in natürlicher Größe)
- Farbe
- Struktur
- Textur
- Verwitterungsverhalten
- Anwendungs- und Verwendungsbeispiele
- Literatur / Quellen / Hinweise

Die Dünnschliffauswertung jeweils eines mikroskopischen Beispiels enthält neben der Abbildung eines repräsentativen Dünnschliffausschnittes Angaben zu:

- Komponenten
- Bindemittel
- Diagenese (Kornbindung)
- Porenraum
- Struktur
- Textur
- Besonderheiten

Eine Zusammenfassung der petrographischen Eigenschaften kann der *Tabelle 3-4* entnommen werden.

Tab. 3-4: Beschreibung der Sandsteine und einiger Eigenschaften, die auf mechanische Kennwerte Einfluss haben können

Lage	Probe	Stratigraphie	Farbe	Textur	Reindichte	Rohdichte	Porosität		Porengrößen	Hauptporenvolumen bei	spezif. Oberfl.	Korngrößen (Hauptfraktion)	Kornbindung	Packungsdichte
							aus Reindichte	aus Hg-Mess.						
					[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]	[%]	[mm]	[mm]	[mm/g]	[mm]		
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	kuS	hellolivbraun	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,63	1,92	27,00	25,85	0,05-0,10	0,017	1,94	0,10-0,22	tonig-ferritisch	mäßig
	FBG	kuS	hellolivgelb	Schichtung nicht erkennbar, Gefüge stark aufgeweitet	2,61	1,78	31,85	34,71	n.b.	0,024	3,47	0,10-0,22	tonig	aufgeweitet
	ABR	kuS	rötlichgrau	Schichtung gering angedeutet durch Glimmer und ferrit. Substanz	2,61	2,07	20,68	21,19	0,02-0,15	0,007	3,38	0,10-0,15	tonig-ferritisch, SiO ₂	eng
	GRU	kuS	gelbbraun	Schichtung sehr gering durch lagige Karbonatverteilung angedeutet	2,68	2,16	19,40	26,65	0,03-0,10	0,020	1,73	0,10-0,20	Karbonat (20 %)	eng
	KVF	kuS	hellolivgrün	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,69	1,92	28,52	28,04	0,05-0,10	0,017	3,61	0,10-0,20	tonig	mäßig eng
	KVG	kuS	hellgelbbraun	Schichtung durch tonig-ferritische Partikel nachgezeichnet	2,72	2,14	21,34	22,81	0,05-0,15	0,020	3,20	0,10-0,20	Karbonat (20-25 %)	meist eng
	TEN	kuS	hellolivbraun	ausgeprägte Schichtung, Korngrößenwechsel, kohlige Lagen	2,62	1,90	27,42	26,50	0,02-0,15	0,011	3,37	0,07-0,18	tonig-glimmrig	eng und mäßig
	SFA	kuS	olivgrau	deutliche Schichtung durch lange Glimmer	2,66	1,98	25,56	25,63	0,03-0,10	0,013	4,30	0,10-0,15	tonig	mäßig eng
	BKL	kuS	olivgelb	nicht beurteilbar, da Gefüge stark aufgeweitet	2,65	1,79	32,45	31,28	n.b.	0,029	3,70	0,12-0,20	tonig	aufgeweitet
	VOB	kuS	braungelb	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,62	1,93	26,34	25,13	0,03-0,10	0,010	3,87	0,09-0,12	tonig	relativ eng
	OLH	kuS	hellbraun	Schichtung deutlich durch tonig-ferritische Partikel nachgezeichnet	2,66	1,91	28,20	28,27	0,05-0,08	0,011	5,59	0,07-0,20	ferritisch	mäßig eng
	TEU	kuS	hellolivbraun	Schichtung gering ausgeprägt	2,66	1,81	31,95	31,48	n.b.	0,017	3,37	0,07-0,15	tonig	aufgeweitet
	LBG	kuS	olivbraun	Schichtung kaum sichtbar	2,66	2,00	24,81	21,62	0,02-0,10	0,010	4,64	0,12-0,25	tonig-ferritisch	eng
	LBR	kuS	rotviolett	Schichtung nur angedeutet durch längliche, eingeregelter Klasten	2,72	2,05	24,59	26,28	0,02-0,05	0,014	5,29	0,10-0,22	ferritisch	eng
	HLB	kuS	graubraun	Schichtung gering durch länglich-ferritische Partikel nachgezeichnet	2,66	1,95	26,69	21,11	0,03-0,08	0,013	2,61	0,09-0,20	ferritisch-karbonat. (10 %)	eng und mäßig
	HLI	kuS	rotbraun	Schichtung gering durch länglich-ferritische Partikel nachgezeichnet	2,70	2,08	22,97	28,55	0,05-0,10	0,014	2,74	0,10-0,25	ferritisch-karbonat. (1-6 %)	eng und mäßig
	HBS	kuS	gelbbraun	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,67	1,92	28,09	28,44	0,04-0,15	0,017	3,03	0,10-0,22	ferritisch	eng und mäßig
	SAL	kuS	hellolivbraun	Einregelung vorhanden (mit dünnen Glimmerlagen)	2,60	2,05	21,15	22,12	0,02-0,06	0,007	5,09	0,04-0,12	tonig-ferritisch, SiO ₂	mäßig
	UKR	ku/kmS?	hellrötlichgrau	Schichtung durch Glimmer und ferritische Partikel nachgezeichnet	2,63	2,07	21,29	20,29	0,06-0,12	0,006	5,49	0,10-0,22	tonig-ferritisch	mäßig eng
	UKG	ku/kmS?	hellolivbraun	ausgeprägte Schichtung durch schluffige und kohlige Lagen	2,68	1,95	27,24	26,36	0,06-0,20	0,014	4,23	0,05-0,20	tonig	mäßig eng
	MVT	kuS	rotbraun	Schichtung gering durch länglich-ferritische Partikel nachgezeichnet	2,67	2,04	23,60	19,73	0,02-0,12	0,007	4,49	0,12-0,25	ferritisch-karbonatisch (8 %)	eng
	MVG	kuS	olivbraun	ausgeprägte Schichtung durch glimmerige Lagen, ferritische Partikel	2,64	1,95	26,14	24,75	0,03-0,08	0,014	4,36	0,09-0,25	ferritisch	eng und mäßig
	TLB	kuS	olivgrün	Schichtung durch längliche Körner und Opakminerale angedeutet	2,61	1,88	27,97	25,76	0,06-0,16	0,019	5,65	0,10-0,20	tonig, SiO ₂	nicht untersucht
	TRB	kuS	olivgrün	starke Schichtung durch lange Glimmer und Tonlagen	2,66	1,98	25,63	26,08	0,02-0,12	0,011	5,06	0,06-0,12	tonig-ferritisch	eng und mäßig
	THR	kuS	rotbraun	Schichtung nicht erkennbar	2,69	2,01	25,27	16,87	0,03-0,15	0,014	5,35	0,10-0,27	karbonat.-ferritisch (8-10 %)	eng
	THS	kuS	rotbraun	Schichtung gering durch Glimmer und ferritische Partikel angedeutet	2,70	1,99	26,35	25,70	0,03-0,10	0,017	5,05	0,09-0,16	tonig-ferritisch	mäßig eng
	GTH	kuS	hellgrau	deutliche Schichtung durch Korngrößen- und Porengrößenwechsel	2,61	1,99	23,77	24,40	0,02-0,12	0,021	2,71	0,10-0,20	tonig-limonitisch	eng und mäßig
	ING/f	kuS	hellolivgelb	Schichtung gering angedeutet durch ferritische Partikel und Glimmer	2,71	2,04	24,69	17,22	0,04-0,08	0,014	3,54	0,11-0,20	tonig-ferrit., Karbonat (5-6 %)	eng
	ING/l	kuS	hellolivgelb	Schichtung gering durch Glimmer und ferritische Partikel angedeutet	2,73	1,93	29,30	25,95	0,05-0,12	0,017	3,61	0,06-0,20	tonig-ferritisch	eng
	KLM	kuS	graugrün	ausgeprägte Schichtung durch tonige und schluffige Lagen	2,63	1,94	26,24	27,81	0,08-0,20	0,019	3,13	0,07-0,22	tonig, Karbonat (1-2 %)	eng und mäßig
	RKH	kuS	hellolivbraun	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,63	1,94	26,24	28,70	0,05-0,10	0,014	5,19	0,10-0,20	tonig-ferritisch	eng und mäßig
	HST	kuS	hellolivbraun	starke Schichtung deutlich durch lange Glimmer und Schlufffasern	2,62	1,93	26,33	28,52	0,03-0,07	0,011	5,15	0,06-0,12	tonig-glimmrig	eng und mäßig
	HFG	kuS	hellolivgelb	undeutliche Schichtung	2,60	1,86	28,46	28,62	0,04-0,12	0,014	3,42	0,07-0,16	tonig	gering
	ESL	kuS	hellolivgrau	deutliche Schichtung durch Korngrößenwechsel und kohlige Lagen	2,70	2,06	23,70	23,51	0,03-0,10	0,011	5,65	0,07-0,20	tonig-glimmrig, SiO ₂	eng und mäßig
	KHH	kuS	hellolivgrün	Schichtung erkennbar durch kohlige Lagen	2,68	2,02	24,70	25,08	0,02-0,12	0,011	4,13	0,10-0,20	tonig	eng
	WLB	kuS	hellolivgelb	Schichtung nicht erkennbar	2,64	1,90	28,03	26,30	0,05-0,20	0,017	2,97	0,10-0,20	tonig	eng und mäßig
Südlich d. Th. Waldes	MAR	kuS	hellgraugelb	Schichtung angedeutet durch lange Glimmer	2,62	2,10	19,85	19,41	0,04-0,12	0,013	2,57	0,10-0,20	tonig-ferritisch, SiO ₂	eng
	SWH	kuS	hellgraubraun	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet	2,63	1,90	27,77	28,49	0,04-0,12	0,017	4,35	0,09-0,15	tonig	aufgeweitet
	BHR	kuS	rotviolettbraun	deutliche Schichtung mit tonigen und ferritischen Komponenten	2,66	2,12	20,25	19,89	0,02-0,08	0,007	4,40	0,12-0,22	tonig-ferritisch, SiO ₂	eng
	BHG	kuS	olivbraun	Schichtung nicht erkennbar	2,73	2,08	23,81	19,75	0,02-0,05	0,011	4,62	0,12-0,25	tonig-ferritisch, SiO ₂	eng
	HFA	kmS	hellolivbraun	deutliche Schichtung durch linsenförmige Schluffaggregate	2,62	2,04	22,02	20,50	0,02-0,08	0,011	5,40	0,06-0,12	tonig, tonig-glimmrig	eng
	HFN	kmS	hellolivgelb	Schichtung gering durch Glimmer angedeutet, tonige Fasern	2,61	2,06	20,99	24,66	0,04-0,05	0,007	5,27	0,08-0,15	tonig-ferritisch	eng und mäßig
	MLZ	kmS	hellgelbbraun	Schichtung gering durch Glimmer und ferritische Partikel angedeutet	2,71	2,20	18,73	15,15	0,01-0,05	0,001	4,01	0,09-0,18	tonig-ferr., SiO ₂ , Karb.(1%)	eng
	AH	kuS	rotviolettbraun	Schichtung nicht erkennbar, einzelne kohlige Partikel	2,70	2,12	21,48	19,46	0,04-0,10	0,007	5,25	0,12-0,30	ferritisch, SiO ₂	eng
	SDA	kmS	hellolivbraun	Schichtung nicht erkennbar	2,63	2,06	21,67	21,26	0,02-0,05	0,006	5,66	0,04-0,12	tonig-ferritisch, SiO ₂	mäßig eng

3.3.2 Gesteinsansprache und allgemeine Merkmale

Bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Thüringens handelt es sich um fein- bis sehr schwach mittelsandige feldspatführende Sandsteine mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenite).

Farblich unterscheiden sich die Sandsteine teilweise stark voneinander. Es gibt violettrote, gelblichbraune, grau- und olivgrüne Varietäten, die durch dünne, wellige tonig-siltige oder kohlige Schmitzen und Flasern, braune Eisenoxidflecken und Tonlinsen gekennzeichnet sein können (vgl. *Tafel 3-1*).

Da die Gemeinsamkeiten überwiegen, erfolgt nachfolgend eine Darstellung der allgemeingültigen Eigenschaften. Detaillierte Angaben, Abweichungen und Besonderheiten einzelner Proben gibt *Tabelle 3-4* wider.

3.3.2.1 Gefüge

Die Korngrößen der Gesteinsklasten liegen überwiegend zwischen 0,04 und 0,25 mm. Die feineren, teilweise siltigen Ausbildungen liegen zwischen 0,02 und 0,10 mm, die größeren in der Regel zwischen 0,07 und 0,25 mm mit wenigen Ausnahmen auch bis 0,38 mm. Die Einzelkörner weisen vorwiegend eine mittlere bis hohe Sphärizität auf, führen aber stets auch einen geringen Anteil mit geringer Sphärizität (gedrungene Quarze und Feldspäte, Glimmerblättchen). Sie sind eckig, untergeordnet kantengerundet, selten gerundet ausgebildet. Die Sortierung ist mäßig bis gut. Die Schichtung ist unterschiedlich stark ausgeprägt. Eine Reglung der Mineralkomponenten ist an gestreckten Körnern, besonders den Glimmerblättchen, meist deutlich erkennbar, wird aber vor allem durch tonig-schluffige oder kohlige Flasern hervorgehoben. Auf Schichtflächen finden sich sehr häufig Glimmeranreicherungen (meist Muskovit).

Die sichtbare Porosität liegt bei ca. 15 %. Es handelt sich überwiegend um intergranulare Kapillarporen mit einem Durchmesser zwischen 50 und 150 µm. Es treten überwiegend unregelmäßig geformte, isometrisch ausgebildete Poren auf.

Insgesamt beträgt das Intergranularvolumen 19 bis 30 %, im Mittel ca. 25 % (berechnete Porosität aus Roh- und Reindichte). Das Hauptporenvolumen liegt zwischen 6 und 20 µm, im Mittel bei ca. 14 µm (*Diagramm 3-1*).

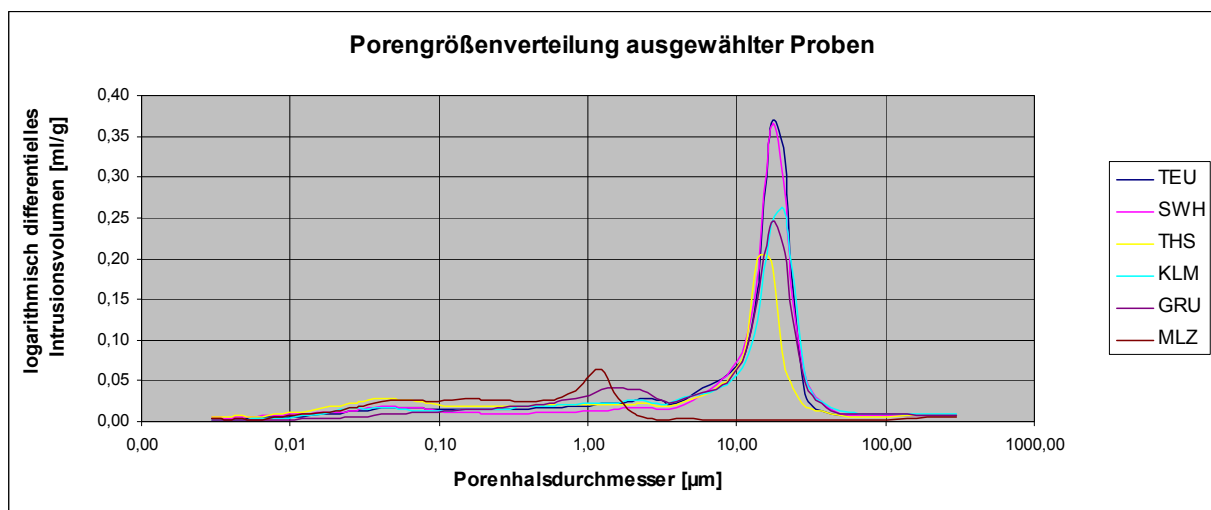


Diagramm 3-1: Porengrößenverteilung ausgewählter Sandsteine

Der Porenraum ist zum Teil inhomogen und lagerhaft ausgebildet. Bei vielen Proben ist bereits in der Dünnschliff-Dimension ein schichtiger, streifiger und unregelmäßiger Wechsel der Porosität und Bindung festzustellen (*Abb. 3-3*).

Innerhalb einer Probe schwankt die Porosität aufgrund ungleichmäßiger Bindemittelanreicherungen und glimmerig-toniger Einlagerungen teilweise stark.

Einige Proben besitzen ein ausgesprochen aufgeweitetes Gefüge (Proben FBG, BKL, TEU) und Porositäten von über 30 %. Andere Proben sind überwiegend dicht gepackt und weisen Porositäten von weniger als 20 % auf (GRU, MAR, MLZ). Die Mehrzahl der Sandsteine besitzt jedoch eine Gesamtporosität von 20 bis 30 %.

3.3.2.2 Mineralbestand

Eine Bestimmung der Mengenanteile der Hauptkomponenten ist allein mit mikroskopischen Methoden infolge der Feinheit des Materials schwer. In grober Abschätzung lassen sich folgende Angaben machen (MÄDLER 1998):

Quarz:	50 - 60 %
Feldspat:	10 - 25 %
Glimmer:	5 - 10 %
Gesteinsklasten:	5 - 20 %.

Bei den Quarzen handelt es sich um mono- und polykristalline Quarze und um Chert. Bei den Feldspäten handelt es sich vorwiegend um Orthoklase, teilweise aber auch um Plagioklase, weniger um Mikrokline, in unterschiedlichen Anteilen und Korrosionsstadien.

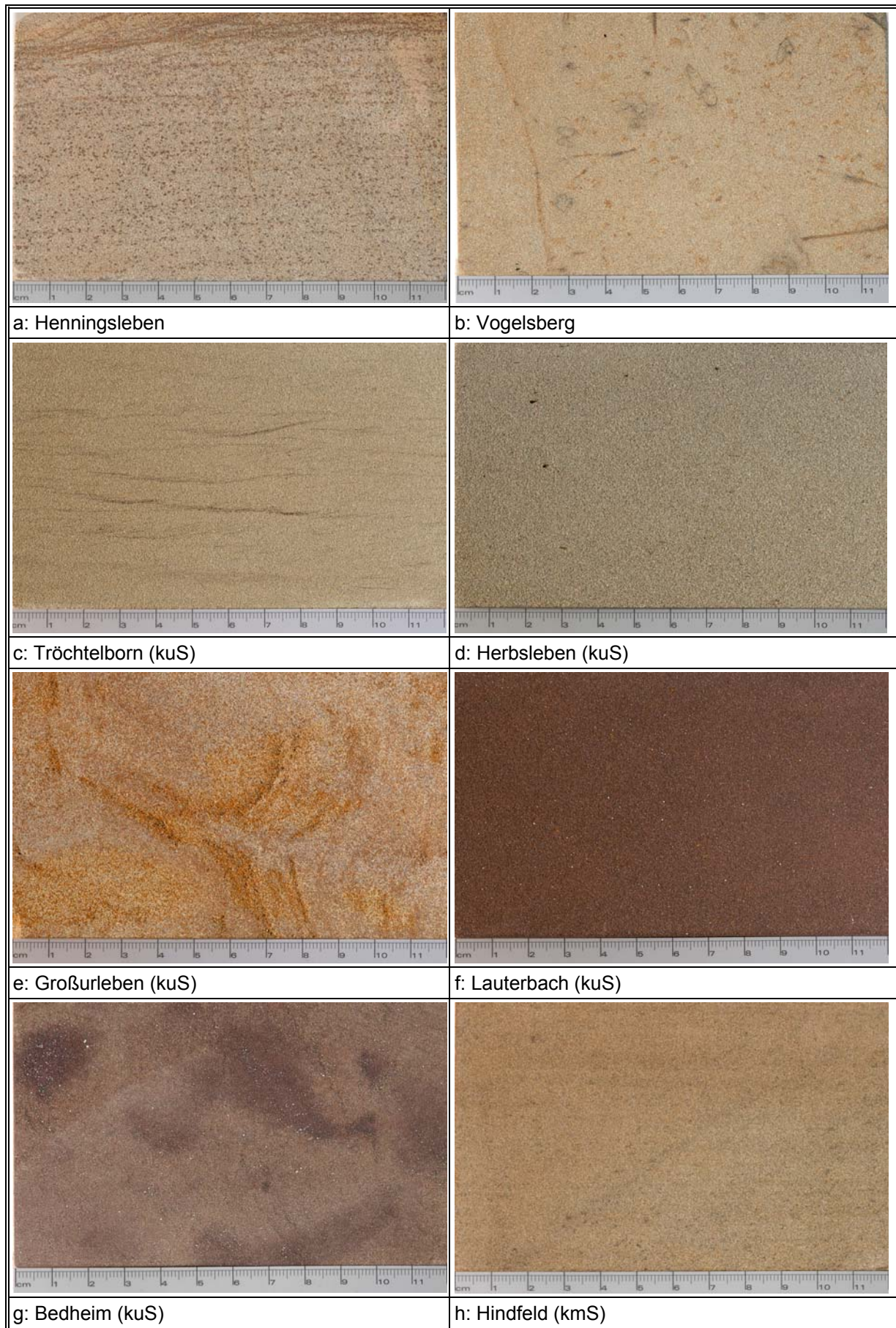
Die Lithoklasten bilden einen nicht unerheblichen Anteil am petrographischen Aufbau der Sandsteine, und setzen sich aus Magmatiten, Vulkaniten, Metamorphiten, Quarziten und Sedimentgesteinen zusammen. Infolge der feinen Aufbereitung des Abtragungsmaterials sind nur sehr feinkörnig ausgebildete Gesteinsklasten erhalten.

Mit Ausnahme von eisenhaltigem Erz ist die Schwermineralführung gering, auf die Erfassung der Minerale, wurde verzichtet. Bekannt sind: Zirkon, Apatit, Turmalin, Rutil, Hornblende und Granat (MÄDLER 1998, FISCHER 1999, PATZELT 1996).

Bei den im Wesentlichen gut eingeregelter Glimmern handelt es sich sowohl um Muskovite, als auch um Biotite. Die in der Literatur angegebene „Vorherrschaft“ der Muskovite (HOPPE 1939) kann nicht als kennzeichnendes Merkmal für alle Steine bestätigt werden.

Auffällig ist, dass die dünnblättrigen Muskovite häufig etwas gestaucht und verbogen, aber im Allgemeinen recht frisch sind, während die Biotite häufig gedrungener ausgebildet und fast immer alteriert sind. Häufig sind sie fleckig kräftig braun oxydiert, oft teilweise bis vollständig chloritisiert.

Bei den grünlichen Mineralen handelt es sich meist um vergrünte Biotite, seltener um Chlorite. Glaukonite konnten nur in Einzelfällen, meist in Form von Pellets, festgestellt werden.



Tafel 3-1: Beispiele thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

3.3.2.3 Kornbindung

In der überwiegenden Anzahl der für die Auswertung zur Verfügung stehenden Dünnschliffe, ist als wesentliches Bindemittel ein serizitisch-toniger, örtlich mehr oder weniger intensiv mit ferritischem Material durchsetzter Kontaktzement vertreten. Dieser ist sehr inhomogen und enthält in hohem Maße auch Glimmer, alterierte Biotite, und serizitisierte Gesteinsbruchstücke. Das Bindemittel liegt als Kornhülle und Zwickelfüllung vor, direkte Kornkontakte sind selten. In den für die Auswertung zur Verfügung stehenden Dünnschliffen ist der Anteil an rein tonigem Bindemittel gering, was die Form als Kornhülle und Zwickelfüllung betrifft. Es treten meist nur flecken- oder flockenartige tonige Bestandteile auf. In einer größeren Anzahl von Proben ist als wesentliches Bindemittel eine tonig-ferritische oder/und ferritische Substanz vertreten. Neben der tonig-ferritischen Bindung weist ein Teil der Proben deutliche karbonatische Bindemittelanteile auf. Teilweise gibt es sekundäre SiO₂-Anwachssäume, die jedoch die Bindung nicht wesentlich beeinflussen. Es kommt nur in inselartigen, kleinen Bereichen zu unmittelbaren Quarzkorn-Kontakten, die 10 bis 30 % der Korngrenzlinie, selten mehr, einnehmen.

Die Anteile der jeweiligen Bindemittel unterliegen stärkeren Schwankungen:

- tonig-ferritische und ferritische Bindemittel:
treten sehr häufig auf und spielen eine besondere Rolle in ihren Anteilen, ihrer Verteilung und bei der Bindung der Sandsteine
- karbonatisches Bindemittel:
Zwei Proben (GRU, KVG) sind als karbonatische Sandsteine, vier Proben (MVT, THR, ING/f, HLB) als schwach karbonatische Sandsteine zu bezeichnen, weitere 8 Proben führen sehr geringe karbonatische Anteile (meist 1% und weniger). Dolomitische Bindemittel, die in der Literatur beschrieben sind (GRÄBE 1978), konnten an den vorliegenden Proben nicht nachgewiesen werden. Lediglich an den Proben HLB, MVT, KLM und MLZ konnten Magnesiumanteile in Spuren festgestellt werden.
- tonige Bindemittel:
treten in Form heller toniger und tonig-glimmriger Substanzen selten auf
- kieselige Bindung:
spielt in Form von sekundären Anlagerungen bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen nur eine untergeordnete Rolle.

Zwei Drittel der Sandsteine weisen eine eher mäßige Kornbindung auf. Diese ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- eine sehr unregelmäßige und wechselnde **mittelbare Bindung** über serizitisch-tonige und tonig-ferritische Substanzen
- eine **hohe Porosität**, die oft unregelmäßig verteilt und fleckenhaft oder streifig angeordnet ist
- geringe und meist inselhafte unmittelbare Quarzkornbindung

Nur ca. ein Drittel der Sandsteine besitzt eine relativ enge Kornbindung, wobei auch hier eine, wenn auch geringere, offene Porosität vorhanden ist. Zu diesem Gefügetyp gehören vorwiegend Sandsteine mit höheren ferritischen oder karbonatischen Bindemittelanteilen.

Dünnschliffbeispiele für eine geringe Kornbindung:

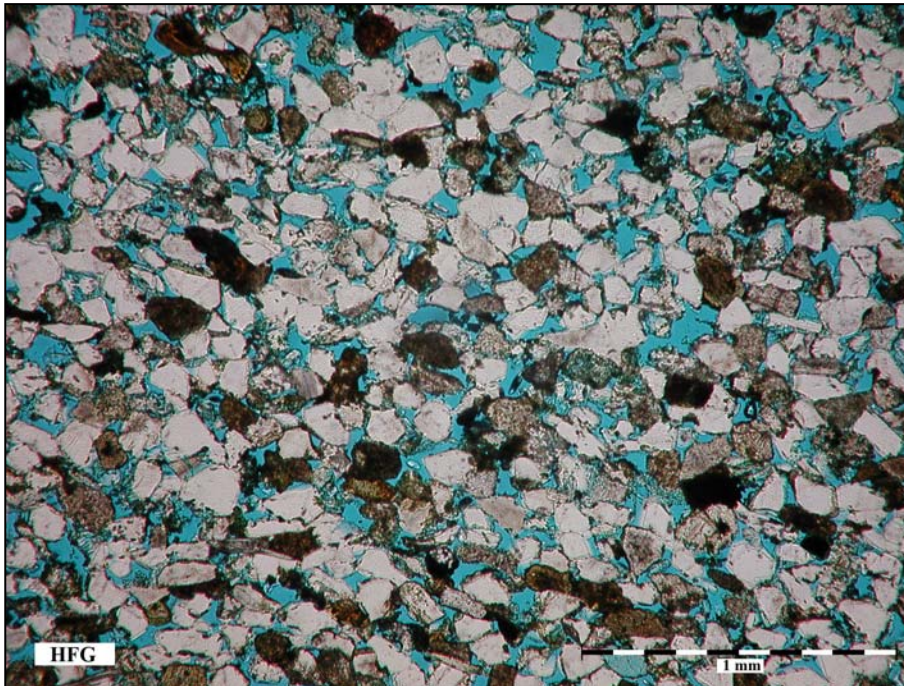


Abb. 3-1: Dünnschliff eines Sandsteins mit hohem Porenanteil

Abbildung 3-1 zeigt einen Dünnschliff mit einem stark aufgeweiteten, verzweigten Porennetz und insgesamt geringer Packungsdichte. Die Kornbindung erfolgt über punktförmige oder längliche Kontakte an den Korngrenzlinien. Das tonige Bindemittel tritt stark zurück.

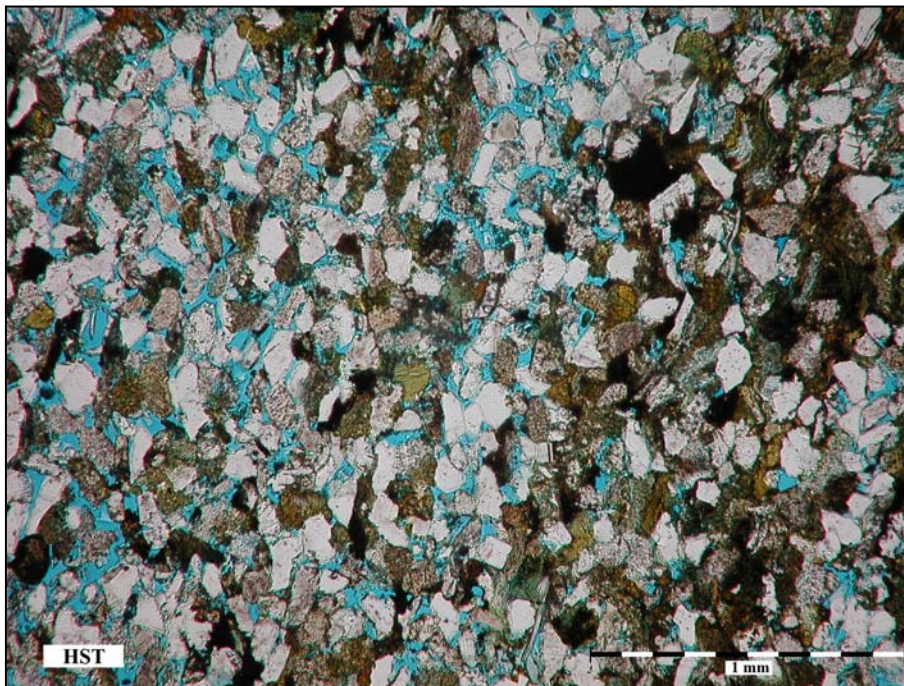


Abb. 3-2: Dünnschliff eines Sandsteines mit wechselnder, unregelmäßig verteilter, streifig angeordneter Porosität

Abbildung 3-2 zeigt einen Dünnschliff mit lagig angeordneter Porosität. In der rechten Hälfte des Bildes befindet sich eine bindemittelreiche Lage, die aus ca. 30-40 % tonigen, ferritischen und glimmerigen Substanzen besteht. Es gibt keine Quarzkornbindung, einzelne Quarze sind in tonigen Flasern eingebettet. Die Packungsdichte ist relativ hoch, durch glimmerige Flasern wird jedoch die eigentliche Bindekraft herabgesetzt.

In den bindemittelärmeren Lagen (linke Hälfte des Bildes) gibt es weniger tonige Substanzen und untergeordnete Quarzkornbindungen, die z.T. punktförmig, z.T. als direkte Bindung an ca. 30 % der Korngrenzlinie vorliegen.

Dünnschliffbeispiele für eine relativ enge Kornbindung:

Partien mit hohen karbonatischen oder ferritischen Anteilen erreichen eine nahezu vollständige Bindung, weitgehend ohne sichtbare Porosität.

Diese Ausbildung tritt jedoch nur partiell auf und nimmt oft nicht einmal die Dimension eines Dünnschliffs ein.

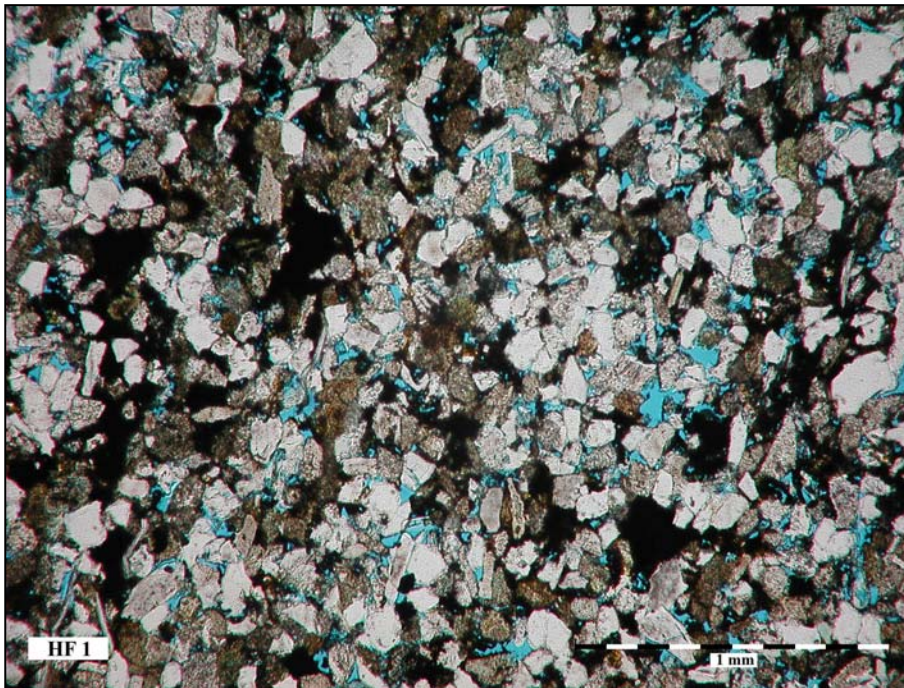


Abb. 3-3: Dünnschliff eines Sandsteines mit relativ geringer Porosität

Abbildung 3-3 zeigt einen Dünnschliff mit überwiegend tonig-ferritischem Bindemittel. Zwischen den Klasten befinden sich größere ferritische Substanzen (Bild - linkes Drittel und rechts unten), die oft 50 bis 80 % der Korngrenzlinien umgeben und auch kleine Zwickel füllen. Es gibt nur wenige Quarze in kleinen Kornverbänden mit direkten Kornkontakten. In Bereichen mit vielen ferritischen und tonigen Aggregaten ist die Packungsdichte relativ eng.

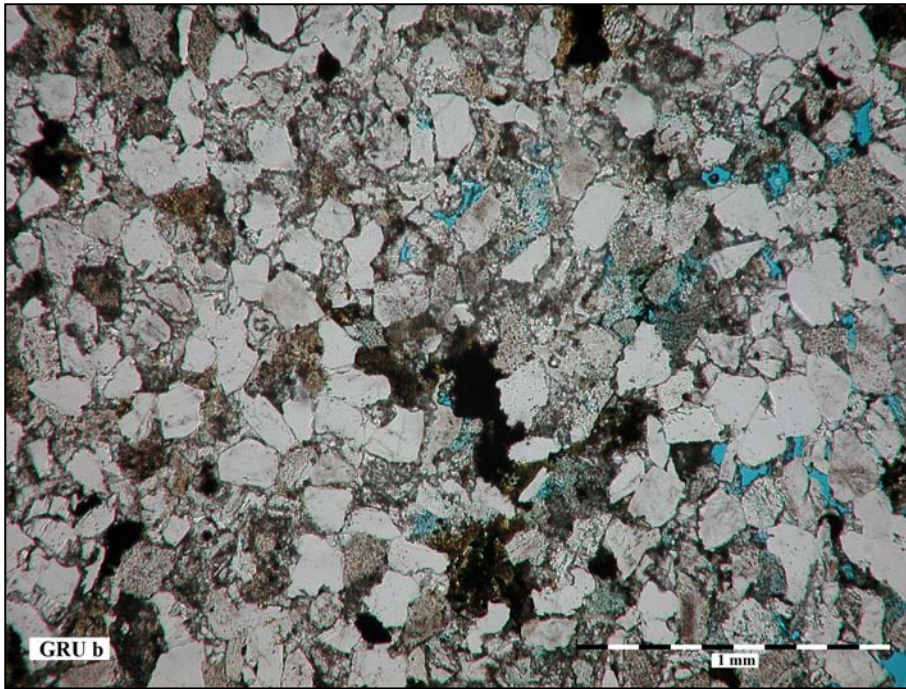


Abb. 3-4: Dünnschliff eines Sandsteins mit karbonatischem Bindemittel und relativ hoher Packungsdichte

Der linke Abschnitt von *Abbildung 3-4* zeigt karbonatisches Bindemittel, das fast alle Poren füllt und zu einer dichten mittelbaren Kornbindung geführt hat. Außerhalb dieser Bereiche (rechter Bildabschnitt) gibt es deutlich weniger karbonatisches Bindemittel, kleinere tonige (helle und bräunliche) Flocken und geringe SiO_2 -Anlagerungen. Der Anteil an offenen Poren ist hier deutlich höher. Direkte Kornkontakte liegen an 10-40 % der Korngrenzen vor.

3.4 Gesteinstechnische Eigenschaften

Die Messwerte der technischen Gesteinsuntersuchungen werden nachfolgend tabellarisch und grafisch dargestellt. Es erfolgt eine Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse. Von allen untersuchten Sandsteinen wurden Datenblätter angelegt, in denen die Ergebnisse im Einzelnen dargestellt sind. Diese Datenblätter können dem **Anhang II** entnommen werden.

3.4.1 Hygrische Eigenschaften

3.4.1.1 Wasseraufnahme und Sättigungswert

Methodik:

Die Aufnahme von Wasser bei Atmosphärendruck (freiwillige Wasseraufnahme) gibt an, wieviel Wasser ein Gestein aufnimmt, wenn es 24 Stunden lang unter der Wasseroberfläche gelagert wird. Die Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar) spiegelt die wasserzugängliche Porosität des Gesteins wider.

Der Sättigungswert ergibt sich aus dem Verhältnis von Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck und Wasseraufnahme unter Vakuum. Er ist ein Kriterium für die Beurteilung der Frostbeständigkeit eines Gesteins. Er gibt an, wie groß der Porenraumanteil ist, der unter Atmosphärendruck durch Wasser in einem Stein gefüllt werden kann. Liegt der Sättigungswert über 0,75 bedeutet das, dass mehr als 75% des Porenraums mit Wasser gefüllt sind und somit das Gestein laut DIN V 52106 äußerst frostempfindlich ist.

Die Untersuchung der Wasseraufnahme und des Sättigungswertes erfolgte nach DIN 52 103 an jeweils 5 Probewürfeln mit 5 cm Kantenlänge.

Ergebnisse:

Die Aufnahme von Wasser bei Atmosphärendruck liegt im Schnitt bei 9,7 Gew.-%. Proben mit geringerer Porosität (unter 20 %) haben erwartungsgemäß auch die niedrigste Wasseraufnahme ($W_a < 7 \%$), Proben mit sehr hoher Porosität (über 30 %) haben die höchsten Werte ($W_a > 12 \text{ Gew.-%}$).


Die Wasseraufnahme unter Vakuum liegt im Durchschnitt bei 11,9 Gew.-%. Die gemessenen Werte spiegeln im Wesentlichen die o.g. Abhängigkeiten wider.

Die Sättigungswerte liegen zwischen 0,75 und 0,93 (entspricht 75 bzw. 93 % Porenfüllung).

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen zur Wasseraufnahme und dem Sättigungswert sind in *Tabelle 3-5* dargestellt.

Die grafische Darstellung der Messwerte, auch in Bezug auf die Porosität, kann den *Diagramm 3-2 (a-d)* entnommen werden.

Tab. 3-5: Wasseraufnahmen, Sättigungswerte und kapillare Wasseraufnahmekoeffizienten der Proben

Herkunft	Prüfung	Wm,a	Wm,v	S-Wert	WA-Koeffizient
	Einheit	[M%]	[M%]	[-]	[kg/ m ² h ^{0,5}]
	Prüfrichtung Probe				
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	10,20	13,35	0,76	7,40
	FBG	14,55	17,99	0,81	19,99
	ABR	8,10	9,70	0,83	5,23
	GRU	6,10	7,10	0,86	2,21
	KVF	10,50	10,08	0,77	8,97
	KVG	7,77	13,76	0,79	7,45
	TEN	10,93	12,77	0,84	10,98
	SFA	10,67	16,34	0,77	9,51
	BKL	12,59	13,60	0,84	20,05
	VOB	11,36	13,43	0,81	11,84
	OLH	10,88	15,85	0,82	14,65
	TEU	12,97	11,12	0,80	21,33
	LBG	8,85	11,20	0,76	7,94
	LBR	8,55	11,83	0,81	7,99
	HLB	9,53	11,92	0,82	9,12
	HLI	9,74	13,36	0,79	3,19
	HBS	10,49	10,76	0,85	9,02
	SAL	9,10	9,78	0,80	7,59
	UKR	7,81	12,69	0,83	2,34
	UKG	10,54	9,33	0,79	17,83
	MVT	7,32	12,56	0,82	10,32
	MVG	10,27	13,80	0,83	12,84
	TLB	11,42	12,52	0,84	22,36
	TRB	10,49	12,59	0,83	9,76
	THR	9,51	11,69	0,81	4,43
	THS	10,43	12,74	0,82	11,04
	GTH	8,27	11,22	0,74	10,67
	ING/f	8,62	10,10	0,85	6,29
	ING/I	10,20	12,70	0,80	16,05
	KLM	10,56	12,94	0,82	17,52
	RKH	10,63	12,87	0,83	16,16
	HST	11,40	13,53	0,84	13,02
	HFG	12,10	15,04	0,80	20,72
	ESL	8,81	10,37	0,85	5,71
	KHH	9,94	11,80	0,84	10,72
	WLB	10,34	13,62	0,81	21,20
Südl. des Th. Waldes	MAR	6,67	8,90	0,75	4,33
	SWH	11,00	14,01	0,79	18,64
	BHR	7,82	9,22	0,85	3,46
	BHG	8,32	10,08	0,83	3,38
	HFA	8,54	9,46	0,86	5,93
	HFN	9,41	10,99	0,86	6,89
	MLZ	6,50	6,99	0,93	1,74
	AH	7,89	9,04	0,87	4,46
	SDA	8,10	10,59	0,76	3,27

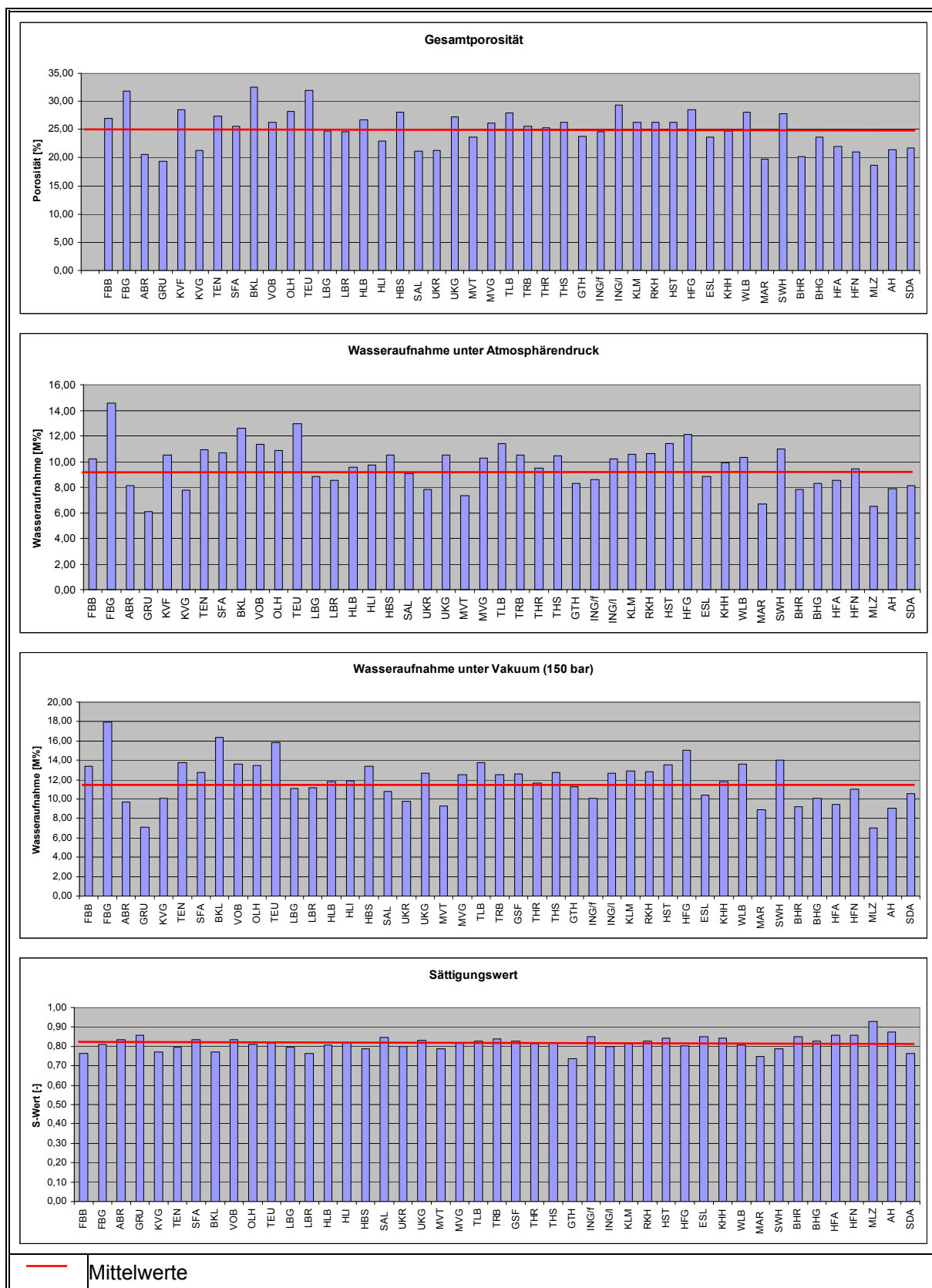


Diagramm 3-2 (a-d): Porositäten, Wasseraufnahmen und Sättigungswerte der Proben

Diskussion:

Das Wasseraufnahmevermögen der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine ist, verglichen mit dem anderer triasischer oder kretazischen Sandsteine, relativ hoch.

Die Wasseraufnahme reflektiert den Grad der intergranularen Zementierung, der bei den untersuchten Sandsteinen eher gering ist.

Die Sättigungswerte der untersuchten Sandsteine Thüringens liegen zwischen 0,75 (entspricht 75 % Porenfüllung) und 0,93 (entspricht 93 % Porenfüllung).

Für den Grenzwert der Frostbeständigkeit werden unterschiedliche Zahlen angegeben, sie reichen von 0,60 (RAUPACH ET AL. 2004) über 0,75 (DIN V 52 106) bis 0,89 (POSCHOLD 1990). Die Grenzwertangabe ist laut REINSCH (1991) jedoch nicht allein ausschlaggebend, da die Frostbeständigkeit von Gesteinen auch noch von anderen Aspekten als dem zur Verfügung stehenden Porenraum abhängt. Dazu gehören z.B. Gesteinsschichtungen und Inhomogenitäten (z.B. Tonlinsen oder Mikroklüfte), Art des Bindemittels und Mineralbestand.

In Anbetracht dessen, dass der Sättigungswert bei allen Proben über 0,75 liegt, muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Frostbeständigkeit der Sandsteine eher mäßig ist (*vgl. auch Abschnitt 3.4.2.4*).

3.4.1.2 Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient

Methodik:

Der Wasseraufnahmekoeffizient (W-Wert) kennzeichnet die durch kapillare oder absorptive Kräfte bedingte flächenbezogene Wasseraufnahme bei Oberflächenbenetzung.

Seine Bestimmung erfolgte nach DIN EN 1925 an jeweils 3 Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm) parallel zur Schichtungsebene.

Ergebnisse:

Die Wasseraufnahmekoeffizienten der untersuchten Sandsteine liegen im Durchschnitt bei $10,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ (*Diagramm 3-3*).

Sandsteine, bei denen eine enge Packungsdichte und eine vergleichsweise geringe Porosität (um 20 %) festgestellt wurde, sowie einige Sandsteine mit höheren karbonatischen oder ferritischen Bindemittelanteilen haben einen vergleichsweise geringen Wasseraufnahmekoeffizienten von 2 bis $6 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Sandsteine mit deutlich aufgeweitetem Gefüge und einer Porosität von über 30 % besitzen dagegen einen sehr hohen Wasseraufnahmekoeffizienten von ca. $20 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$.

Bei den Untersuchungen zur kapillaren Wasseraufnahme wurden die Einflüsse von Inhomogenitäten (tonig-schluffige oder kohlige Fläsern, Glimmeranreicherungen) deutlich, die je nach Lage und Ausbildung den kapillaren Saugvorgang verzögerten oder beschleunigten. Diese Proben wurden aussortiert und die Messung mit einer anderen Probe des gleichen Sandsteins wiederholt.

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen können der *Tabelle 3-5* entnommen werden.

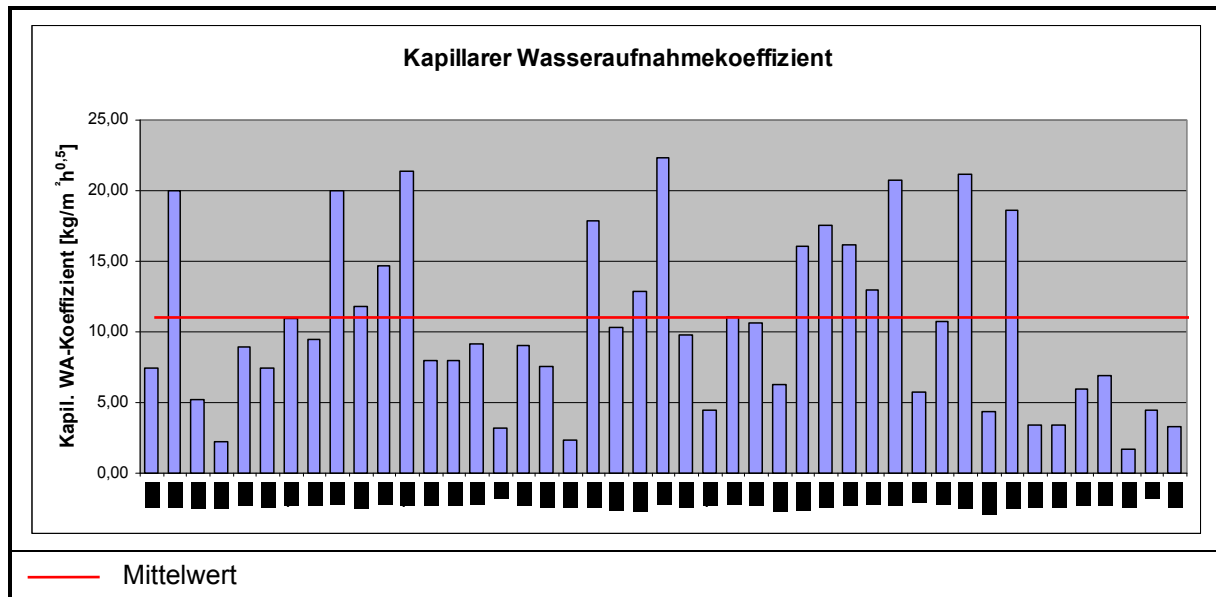


Diagramm 3-3: Kapillare Wasseraufnahmekoeffizienten der Proben

Diskussion:

Die kapillare Wasseraufnahme erfolgt in der Anfangsphase des Saugvorgangs bei gut saugenden Sandsteinen näherungsweise nach einem \sqrt{t} -Gesetz (KLOPFER 1974, KRAUS 1985). SCHUH (1987) weist darauf hin, dass bei tonhaltigen Sandsteinen die kapillare Wasseraufnahme vom \sqrt{t} -Gesetz abweicht, da durch das interkristalline Quellen der Tone eine Art Selbstverengung der Proben auftritt und der kapillare Saugvorgang gebremst wird.

Dieser Effekt ist bei den untersuchten Sandsteinen in den Fällen zu beobachten, in denen vorwiegend tonige Kornbindung vorliegt (Probe SWH). Bei Sandsteinen mit tonig-ferritischer Bindung (Proben THS, ABR) oder bei Sandsteinen mit höheren karbonatischen Bindemittelanteilen (Probe GRU) ist dieses Saugverhalten nur in abgeschwächter Form zu beobachten, innerhalb von 24 h kam es zu keiner bedeutenden Stagnierung des Saugvorganges. Bei Sandsteinen mit enger Packungsdichte (Probe MLZ) verläuft die kapillare Wasseraufnahme insgesamt auf einem niedrigen Niveau (Diagramm 3-4).

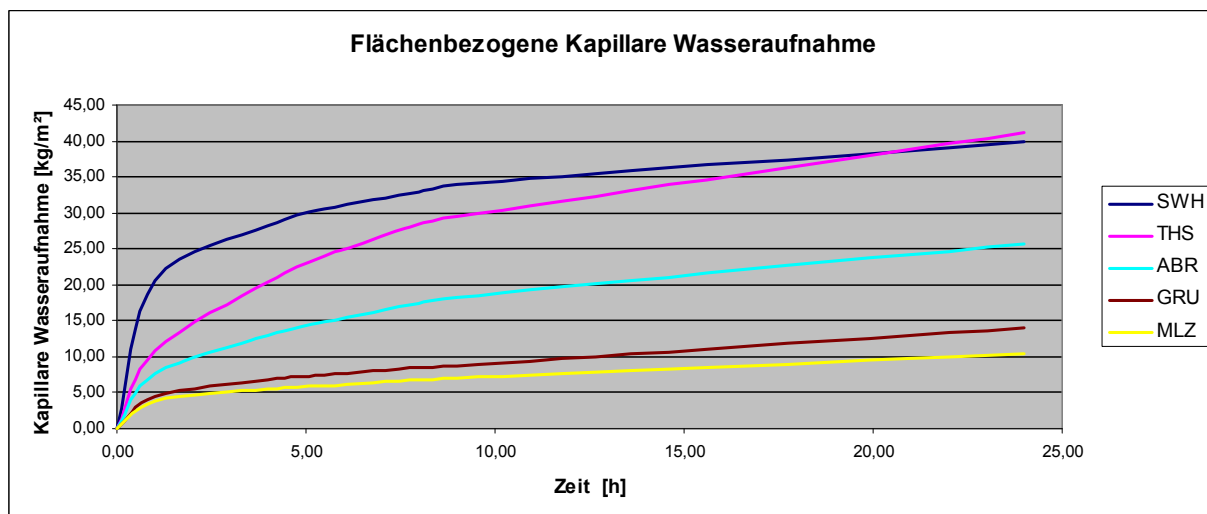


Diagramm 3-4: Zeitabhängige kapillare Wasseraufnahmen ausgewählter Proben

3.4.1.3 Hygroskopische Wasseraufnahme

Methodik:

Unter hygroskopischer Wasseraufnahme versteht man die Eigenschaft poröser Stoffe, Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen zu können.

Die Untersuchungen wurden an jeweils drei Prüfwürfeln mit einer Kantenlänge von 5 cm vorgenommen. Es erfolgte zunächst die Ermittlung der Masse an vorkonditionierten Proben (20°C, 25 % r.F.). Anschließend wurden die Proben solange bei 95% r.F. gelagert, bis Massekonstanz erreicht war. Nach Bestimmung der Massedifferenz wurde die prozentuale Wasseraufnahme berechnet.

Ergebnisse:

Die untersuchten Sandsteine können bei einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit von 25% auf 95% zwischen 0,43 und 1,75 M% Wasser aufnehmen (*Diagramm 3-5*).

Das entspricht einer prozentualen Porenfüllung zwischen 1,8 und 7,4 Vol.% und zeigt, dass diese Art der Wasseraufnahme bei den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen keine bedeutende Rolle spielt.

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen können der *Tabelle 3-6* entnommen werden.

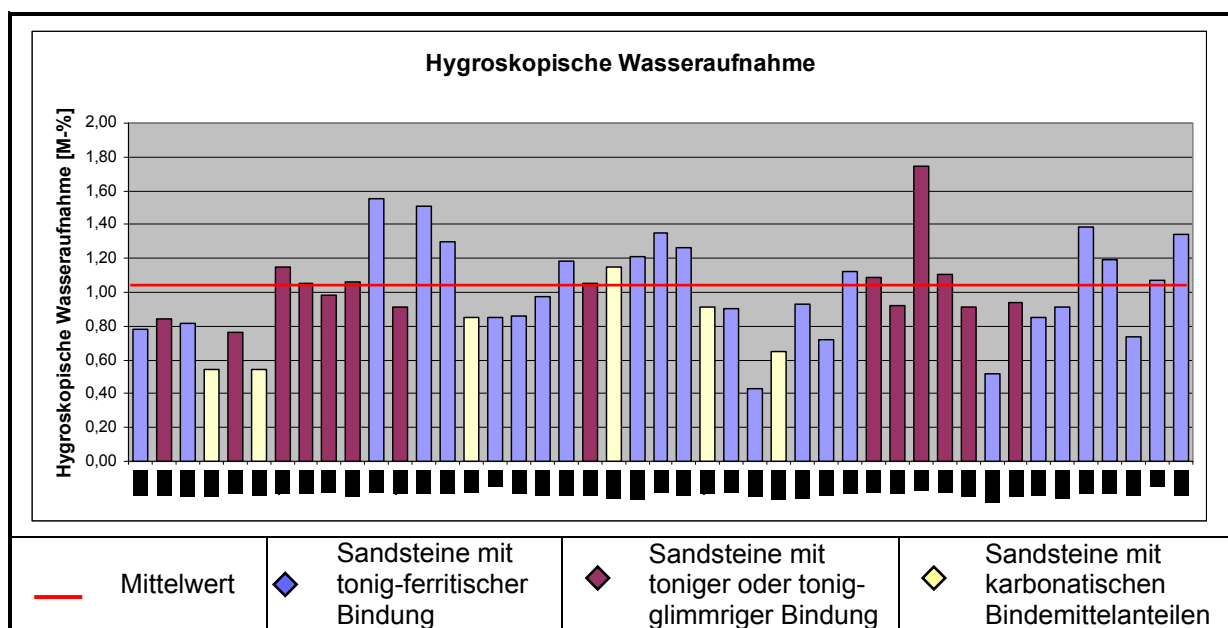


Diagramm 3-5: Hygroskopische Wasseraufnahme der Proben mit Darstellung der Bindemittelanteile, bei einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 95 %

Diskussion:

Nach SCHUH (1987) spiegelt die hygroskopische Wasseraufnahme die innere Oberfläche der Gesteine wider. Das Wasser wird dabei entweder als mehrere Moleküllagen dicke Schicht von der inneren Oberfläche adsorbiert oder, vorausgesetzt es liegen intrakristallin quellfähige Tonminerale vor, als Zwischenschichtwasser in die Tonminerale eingebaut.

Die hygroskopische Wasseraufnahme ist in erster Linie von der Porenverteilung im Sandstein abhängig, die sich in der inneren Oberfläche widerspiegelt. Bei den untersuchten Sandsteinen konnte eine annähernd lineare Abhängigkeit der hygroskopischen Wasseraufnahme von der spezifischen Oberfläche nachgewiesen werden (*Diagramm 3-6*).

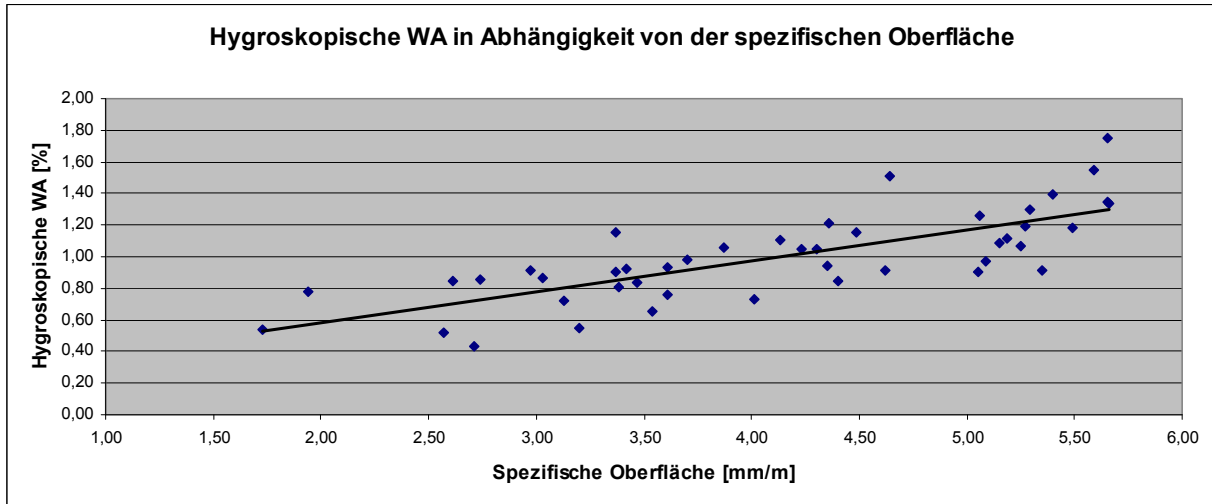





Diagramm 3-6: Abhängigkeit der hygroskopischen Wasseraufnahme von der spezifischen Oberfläche bei einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 95 %

Gleichzeitig kann festgestellt werden, dass tonig oder tonig-glimmrig gebundene Steine nicht zwangsläufig eine größere hygroskopische Wasseraufnahme als die Sandsteine mit karbonatischen oder tonig-ferritischen Bindemittelanteilen aufweisen.

Die Ursache dafür könnte darin liegen, dass keine oder nur wenige quellfähige Tonminerale vorliegen, so dass nur wenig Zwischenschichtwasser eingelagert werden kann.

Tab. 3-6: Hygroskopische Wasseraufnahme, hygrische Dehnung und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl der Proben

Herkunft	Prüfung	Hygrosk. WA (25-95% r.F.)	Hygrische Dehnung (25-95 % r.F.)		μ (0-85% r.F.)
	Einheit	[M%]	[mm/m]		[-]
	Prüfrichtung Probe				
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	0,78	0,240	0,185	27,92
	FBG	0,84	0,250	0,194	23,29
	ABR	0,81	0,200	0,150	53,44
	GRU	0,54	0,100	0,090	65,79
	KVF	0,76	0,242	0,167	45,10
	KVG	0,54	0,158	0,092	57,30
	TEN	1,15	0,345	0,298	30,53
	SFA	1,05	0,292	0,167	30,96
	BKL	0,98	0,543	0,260	23,17
	VOB	1,06	0,610	0,340	40,33
	OLH	1,55	0,300	0,158	26,93
	TEU	0,91	0,288	0,208	21,88
	LBG	1,51	0,453	0,342	44,53
	LBR	1,30	0,117	0,058	58,37
	HLB	0,85	0,149	0,056	46,79
	HLI	0,85	0,142	0,038	53,66
	HBS	0,86	0,150	0,045	39,00
	SAL	0,97	0,125	0,098	58,94
	UKR	1,18	0,492	0,438	57,38
	UKG	1,05	0,683	0,442	29,73
	MVT	1,15	0,175	0,110	50,25
	MVG	1,21	0,238	0,125	45,01
	TLB	1,35	0,433	0,258	42,22
	TRB	1,26	0,598	0,302	38,08
	THR	0,91	0,225	0,138	55,32
	THS	0,90	0,180	0,165	40,13
	GTH	0,43	0,292	0,198	54,22
	ING/f	0,65	0,295	0,201	55,00
	ING/l	0,93	0,378	0,197	38,26
	KLM	0,72	0,421	0,254	40,26
	RKH	1,12	0,350	0,183	42,41
	HST	1,09	0,400	0,253	37,83
	HFG	0,93	0,395	0,211	32,51
	ESL	1,75	0,417	0,300	52,56
	KHH	1,10	0,358	0,192	45,22
	WLB	0,91	0,201	0,097	35,44
Südl. des Th. Waldes	MAR	0,52	0,096	0,053	65,85
	SWH	0,94	0,290	0,240	27,17
	BHR	0,85	0,333	0,310	60,63
	BHG	0,91	0,412	0,360	45,73
	HFA	1,39	0,482	0,335	40,86
	HFN	1,19	0,435	0,320	52,81
	MLZ	0,73	0,150	0,092	66,24
	AH	1,07	0,455	0,350	58,23
	SDA	1,34	0,380	0,343	46,82

3.4.1.4 Hygrische Dehnung

Methodik:

Die hygrische Dehnung wurde an jeweils 3 Probewürfeln (Kantenlänge 5 cm) mit einem Setzungsdehnungsmesser Bauart Pfender durchgeführt. Die Messmarken wurden in einem Abstand von 40 mm aufgeklebt. Als Bezugswert wurde an vorkonditionierten Proben (20°C, 25 % r.F.) gemessen. Anschließend wurden die Proben solange bei 95% r.F. gelagert, bis Massekonstanz erreicht war und anschließend die Dehnung bestimmt.*

Die Messung erfolgte jeweils senkrecht und parallel zur Gesteinsschichtung.

Ergebnisse:

Die untersuchten Proben weisen bei einer Zunahme der Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 95 % senkrecht zur Schichtungsebene Dehnungen von 0,096 mm/m bis 0,683 mm/m auf (Diagramm 3-7).

Parallel zur Schichtungsebene sind ca. um 30 % geringere Längenänderungen zu verzeichnen.

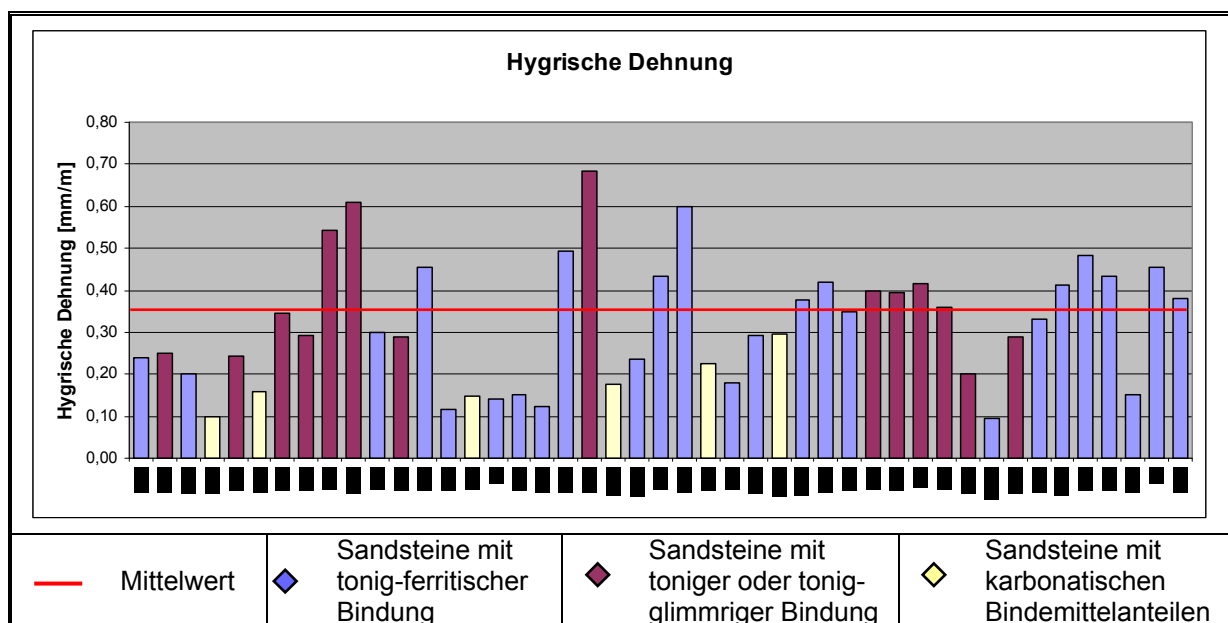


Diagramm 3-7: Hygrische Dehnung der Proben mit Darstellung der Bindemittelanteile, bei einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 95 %

* Die hygrische Dehnung konnte nicht an wassergesättigten Proben gemessen werden, da die aufgeklebten Messmarken sich unter diesen Bedingungen nach kurzer Zeit wieder ablösten, bzw. während des Messens abbrachen. Der Bruch erfolgte nicht an der Grenzschicht Stein/Messmarke, sondern in der angrenzenden Steinschicht.

Diskussion:

Sandsteine weisen bei Befeuchtung in vielen Fällen eine Volumenzunahme auf, welche als hygrische Dehnung bezeichnet wird. Dafür können zwei ursächliche Mechanismen verantwortlich sein. Zum einen das Quellen von am Gefügebrau beteiligten Mineralphasen und zum anderen die Wechselwirkung zwischen im Porenraum vorhandenen Wasser und der Mikroporosität (RUEDERICH ET AL. 2005).

SCHUH (1987) misst den im Sandstein enthaltenen Tonmineralen eine besondere Bedeutung zu. Seinen Messungen zufolge besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der hygrischen Dehnung und dem Tongehalt eines Sandsteins.

Alle untersuchten Sandsteine weisen bei einer Änderung der Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 95 % Längenänderungen auf. Signifikante Abhängigkeiten von den Bindemittelkomponenten konnten dabei jedoch nicht festgestellt werden. So weisen rein tonig gebundene Sandsteine nur in ca. 50 % der Fälle überdurchschnittliche Dehnwerte auf, während an tonig-ferritisch gebundenen Sandsteinen durchaus auch hohe Längenänderungen gemessen wurden. Lediglich bei den Sandsteinen mit hohen karbonatischen Anteilen liegen die Dehnungswerte unter dem Durchschnitt.

Die Ursache dafür kann in der Art der Tonminerale liegen. Die intrakristalline Quellfähigkeit der Tonminerale unterscheidet sich deutlich. Während die meisten Zweischichtminerale und Vierschichtminerale (z.B. Chlorite, die in den untersuchten Sandsteinen häufig vorkommen) keine oder nur eine beschränkte Quellfähigkeit besitzen, quellen Dreischichtminerale unter bestimmten Voraussetzungen gut bis sehr gut. Im Rahmen früherer Untersuchungen, wurden für thüringische Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Illite, Kaolinite (FISCHER 1999) und nur wenig Montmorillonite (PATZELT 1996) bestimmt. Von diesen Tonmineralen weisen nur die Montmorillonite eine intrakristalline Quellfähigkeit auf.

Beim Vergleich mit den Werten der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Nord- und Süddeutschlands (*Tabelle 3-1*) liegen die ermittelten Werte für die hygrischen Längenänderungen etwa in der gleichen Größenordnung.

Der Vergleich mit einem kieselig gebundenen Räsandstein (Seeberger Sandstein), dessen hygrische Dehnung senkrecht zur Schichtung 0,07 bis 0,19 mm/m beträgt (KATZSCHMANN ET AL. 2006) macht deutlich, dass die untersuchten Sandsteine relativ hohe hygrische Längenänderungen aufweisen.

Bezüglich der zeitlichen Abhängigkeit der hygrischen Dehnung wurde für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine festgestellt, dass sich etwa 48 Stunden nach Änderung der Luftfeuchtigkeit ein Gleichgewichtszustand einstellt (PATZELT 1996, LOS 2000).

3.4.1.5 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl

Methodik:

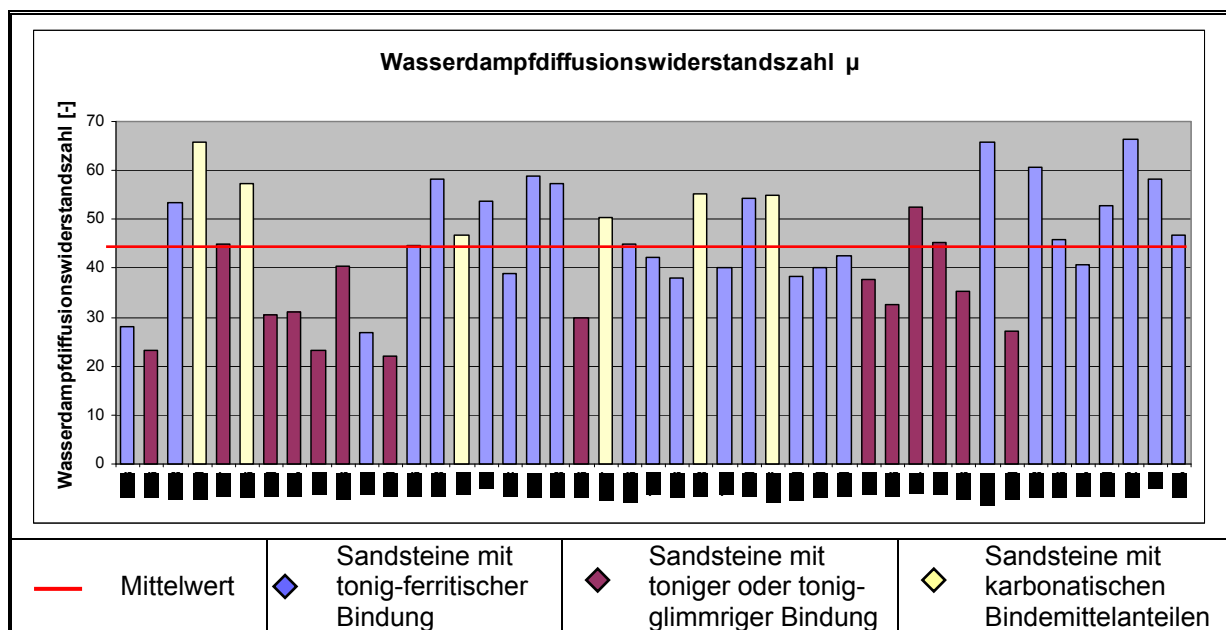
Die dimensionslose Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl (μ -Wert) gibt Auskunft über den Diffusionswiderstand eines porösen Baustoffs gegen die Feuchtigkeit der angrenzenden Luft. Der μ -Wert errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen dem tatsächlichen Diffusionskoeffizienten des Baustoffs und dem Diffusionsleitkoeffizienten einer ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur und Dicke. Er ist damit ein direkter Zahlenwert, der aussagt, um wievielfach höher der Diffusionswiderstand eines Baustoffs im Vergleich zu einer ruhenden Luftschicht gleicher Dicke ist. Der μ -Wert von Luft ist 1.

Die Untersuchungen erfolgten nach DIN EN ISO12572, Prüfbedingung B (23-0/85) und wurden an jeweils 3 Gesteinsscheiben (Durchmesser ca. 70 mm, Höhe ca. 30 mm) durchgeführt. Der Wasserdampftransport erfolgte senkrecht zur Gesteinsschichtung.

Ergebnisse:

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl schwankt bei den untersuchten Sandsteinen zwischen 21,88 und 66,24. Der Durchschnittswert liegt bei 44,3 (Diagramm 3-8).

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen können der Tabelle 3-7 entnommen werden.



Eine Einordnung der Werte für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl im Vergleich zu anderen Sandsteinen ist schwierig, da sich die Messbereiche häufig unterscheiden.

Die Ergebnisse lassen keine signifikanten Abhängigkeiten der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von den Bindemittelanteilen, jedoch eine deutliche Abhängigkeit von der Porosität erkennen (Diagramm 3-9).

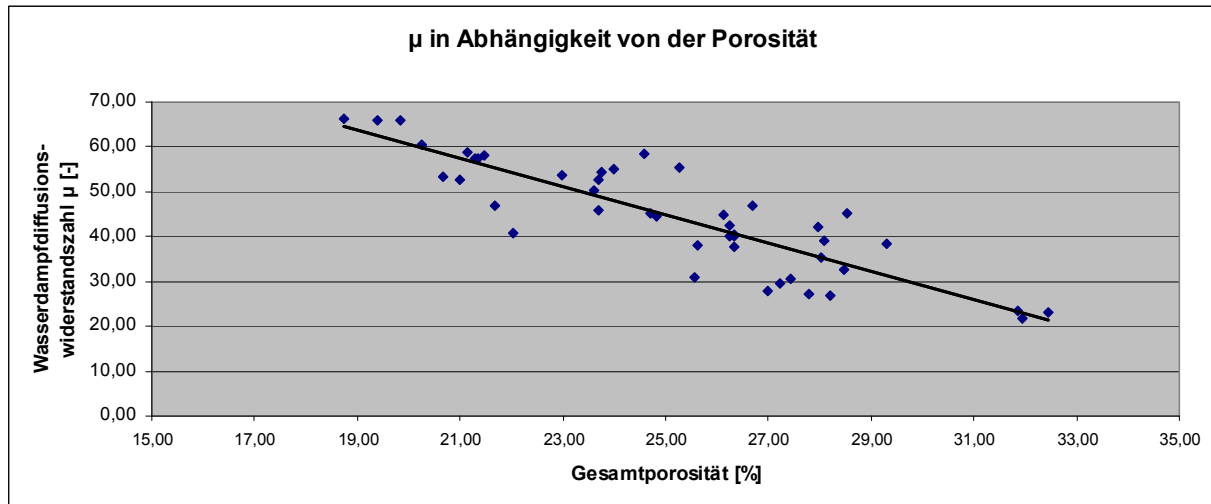


Diagramm 3-9: Wasserdampfdiffusionswiderstand der untersuchten Sandsteine (im Bereich 0 bis 85 % r.F.) in Abhängigkeit von der Porosität

3.4.2 Festigkeitseigenschaften

3.4.2.1 Druckfestigkeit

Methodik:

Die Bestimmung der Druckfestigkeit erfolgte nach DIN EN 1926 pro Serie an jeweils drei Probewürfeln mit 4 cm Kantenlänge. Die Untersuchungen wurden an Probeserien vorgenommen, die hinsichtlich ihres Feuchtigkeitsgehaltes folgendermaßen konditioniert waren:

- Serie 1: Lagerung bei 20 % Luftfeuchtigkeit bis zur Massekonstanz
- Serie 2: Lagerung bei 65 % Luftfeuchtigkeit bis zur Massekonstanz
- Serie 3: Lagerung unter Wasser bis zur Massekonstanz.

Wenn die Schichtung deutlich zu erkennen war, erfolgte die Druckbelastung senkrecht und parallel zur Gesteinsschichtung.

Ergebnisse:

Die Druckfestigkeit der senkrecht zur Schichtung belasteten, trockenen Proben liegt im Mittel bei 32,5 N/mm². Ein knappes Viertel der Proben weist Druckfestigkeiten von 40 bis 50 N/mm² auf, das sind Sandsteine, bei denen eine enge Packungsdichte und eine vergleichsweise geringe Porosität (um 20 %) festgestellt wurde, sowie Proben mit höheren karbonatischen oder ferritischen Bindemittelanteilen. Drei Proben weisen Druckfestigkeiten unter 20 N/mm² auf, das betrifft die Sandsteine mit deutlich aufgeweitetem Gefüge und einer Porosität von über 30 % (Proben FBG, BKL, TEU).

Die Einzelergebnisse der Druckfestigkeitsuntersuchungen sind in der *Tabelle 3-7* dargestellt. Eine Beurteilung richtungsabhängiger Festigkeitsunterschiede (Druckbeanspruchung senkrecht bzw. parallel der Textur) ist wegen der deutlich geringeren Probenanzahl, die parallel zur Schichtung beansprucht wurde, nur eingeschränkt möglich. Es deutet sich aber an, dass die Unterschiede nicht sehr groß sind. Die Festigkeiten sind bei Belastung parallel zur Schichtung im Durchschnitt ca. 10 % niedriger als bei senkrechter Belastung (*Diagramm 3-10*). Ein signifikanter Einfluss von bestimmten Gefügemerkmalen (z.B. ausgeprägte Schichtung oder Inhomogenitäten) oder Bindemittelkomponenten lässt sich nicht nachweisen.

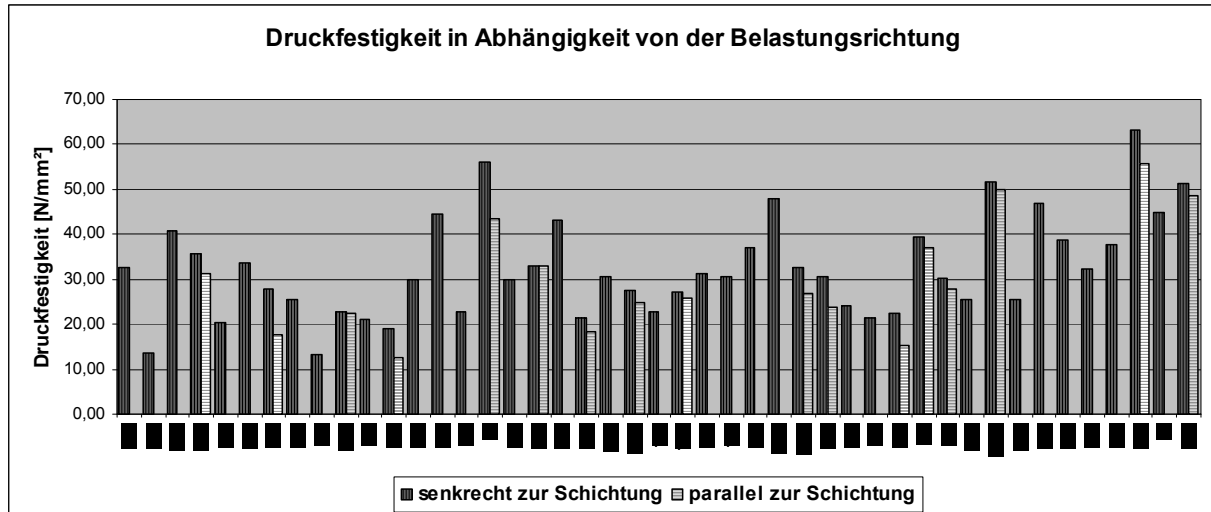


Diagramm 3-10: Druckfestigkeit der Sandsteine in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung

Große Festigkeitsverluste treten jedoch bei einer Durchfeuchtung der Sandsteine auf. So verringert sich die Druckfestigkeit der untersuchten Sandsteine bei einer Luftfeuchtigkeit von 65 % im Vergleich zu trockenen Proben (20 % r.F.) um durchschnittlich ein Viertel, während bei den wassergesättigten Proben die Festigkeit um ca. 40 % reduziert wird. Der tendenzielle Verlauf der Festigkeiten entspricht bei den feuchtigkeitsbelasteten Proben dem der trockenen Proben (*Diagramm 3-11*).

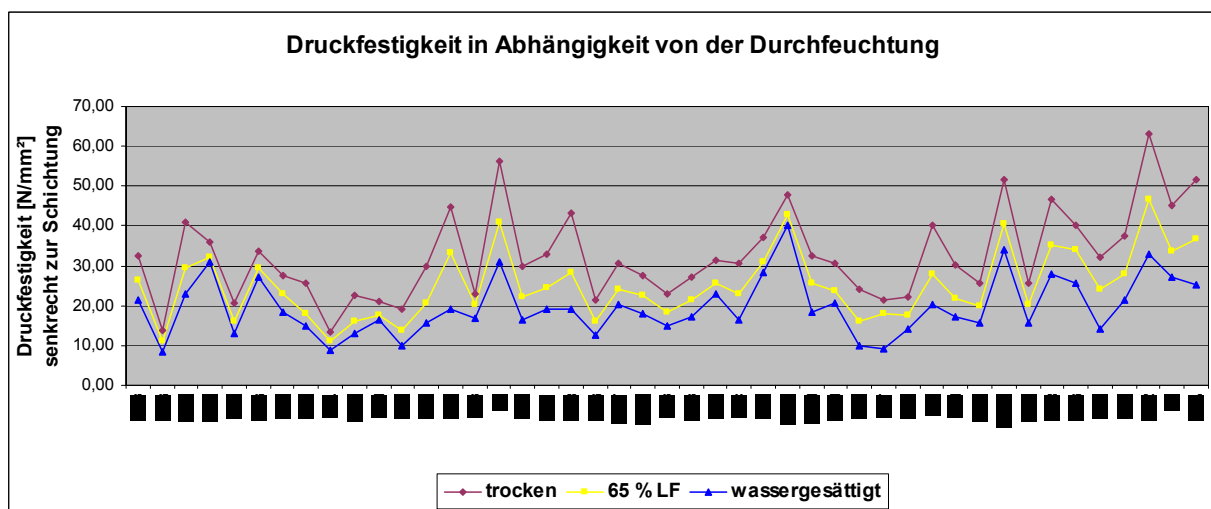








Diagramm 3-11: Druckfestigkeit der Sandsteine bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten

Tab. 3-7: Druckfestigkeiten der Proben bei verschiedenen Feuchtigkeitszuständen

Herkunft	Prüfung	Druckfestigkeit nach DIN EN 1926					
	Einheit	[N/mm ²]					
	Zustand	trocken (20 % LF)		65 % LF		wassergesättigt	
	Prüfrichtung Probe						
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	32,65	n.b.	26,28	n.b.	21,40	n.b.
	FBG	13,60	n.b.	11,20	n.b.	8,40	n.b.
	ABR	40,81	n.b.	29,45	n.b.	23,10	n.b.
	GRU	35,80	31,40	32,30	n.b.	30,90	n.b.
	KVF	20,50	n.b.	16,00	n.b.	13,00	n.b.
	KVG	33,70	n.b.	29,28	n.b.	27,10	n.b.
	TEN	27,70	17,80	22,78	n.b.	18,50	n.b.
	SFA	25,50	25,00	18,15	17,80	14,98	14,80
	BKL	13,30	n.b.	10,98	n.b.	8,80	n.b.
	VOB	22,60	22,30	15,95	15,10	12,97	8,20
	OLH	21,00	n.b.	17,75	n.b.	16,50	n.b.
	TEU	19,00	12,60	13,75	n.b.	10,10	n.b.
	LBG	30,00	n.b.	20,50	n.b.	15,55	n.b.
	LBR	44,60	n.b.	33,45	n.b.	19,30	n.b.
	HLB	22,90	n.b.	20,18	n.b.	16,80	n.b.
	HLI	56,08	23,50	41,06	23,00	30,81	22,90
	HBS	30,00	n.b.	22,30	n.b.	16,50	n.b.
	SAL	33,00	32,90	24,65	n.b.	19,20	n.b.
	UKR	43,30	n.b.	28,48	n.b.	18,98	n.b.
	UKG	21,40	18,40	16,00	13,45	12,77	10,08
	MVT	30,70	n.b.	24,03	n.b.	20,20	n.b.
	MVG	27,50	24,90	22,63	n.b.	18,00	n.b.
	TLB	22,90	20,25	18,18	17,50	14,92	13,08
	TRB	27,20	25,80	21,40	n.b.	17,40	n.b.
	THR	31,30	n.b.	25,48	n.b.	23,00	n.b.
	THS	30,57	n.b.	22,90	n.b.	16,38	n.b.
	GTH	37,21	n.b.	30,91	n.b.	28,20	n.b.
	ING/f	47,80	n.b.	42,85	n.b.	40,20	n.b.
	ING/I	32,60	27,00	25,45	n.b.	18,32	n.b.
	KLM	30,48	23,92	23,86	n.b.	20,80	n.b.
	RKH	24,10	n.b.	16,08	n.b.	9,80	n.b.
	HST	21,30	n.b.	17,98	n.b.	9,10	n.b.
	HFG	22,30	15,40	17,73	12,65	14,10	10,42
	ESL	40,00	37,00	28,00	25,70	20,40	16,81
	KHH	30,10	27,80	21,88	n.b.	17,10	n.b.
	WLB	25,50	n.b.	19,83	n.b.	15,70	n.b.
Südl. des Th. Waldes	MAR	51,50	49,80	40,63	n.b.	34,10	n.b.
	SWH	25,50	22,47	20,13	18,88	15,70	13,94
	BHR	46,81	n.b.	35,11	n.b.	27,94	n.b.
	BHG	40,20	n.b.	34,15	n.b.	25,79	n.b.
	HFA	32,30	n.b.	24,23	n.b.	14,00	n.b.
	HFN	37,60	n.b.	28,10	n.b.	21,60	n.b.
	MLZ	63,30	55,80	46,48	n.b.	32,80	n.b.
	AH	45,02	44,80	33,76	30,25	27,02	25,20
	SDA	51,48	48,50	36,61	n.b.	25,40	n.b.

Diskussion:

In der DIN 52 100 (Richtlinien zur Prüfung und Auswahl von Natursteinen) wird für die Druckfestigkeit nichtquarzitischer Sandsteine ein Bereich von 20 bis 120 N/mm² angegeben. Der Vergleich mit den Festigkeitswerten der untersuchten Proben zeigt, dass die Druckfestigkeit der meisten Proben im unteren Viertel dieses Bereiches liegt. Worin liegt die Ursache für diese schlechten Festigkeitswerte?

Die Druckfestigkeit stellt nach SCHUH (1987) hauptsächlich ein Maß für die Anzahl der Korn-zu-Korn-Kontakte eines Gesteins dar. Bei den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen sind direkte Kornkontakte jedoch eher selten. Die Kornbindung erfolgt meist nur mittelbar, über serizitisch-tonige und tonig-ferritische Substanzen. Bei den Proben mit höherer Packungsdichte werden in der Regel auch höhere Festigkeitswerte erreicht.

Die Ursache für die starke negative Beeinflussung durch Feuchtigkeit liegt in dem hohen Anteil feinsten Bindemittelkomponenten, die bewirken, dass Wasser zwischen die einzelnen Körner und Partikel eindringen und die gegenseitige Haftung herabsetzen kann. Weiterhin enthält das Bindemittel viele Schichtsilikate (Tone, Glimmer, alterierte Biotite, serizitisierte Feldspäte), die in der Lage sind, Wassermoleküle in ihr Gefüge einzulagern, es aufzuweiten und damit die Festigkeit herabzusetzen.

3.4.2.2 Biegezugfestigkeit

Methodik:

Die Zugfestigkeit stellt nach SCHUH (1987) ein Maß für die Haftung der Körner untereinander dar. Mögliche Bestimmungsmethoden sind die Ermittlung der Abzugfestigkeit an Bohrkernscheiben oder der Biegezugfestigkeit.

Aufgrund der begrenzten Probenanzahl, die eine Mehrfachverwendung des Materials (z.B. der Endstücke von Prismen) erforderlich macht und der möglichen gleichzeitigen Messung des statischen E-Moduls, erfolgte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen die Bestimmung der Biegezugfestigkeit unter Mittellinienlast nach DIN EN 12372. Pro Serie wurden jeweils 3 Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm) geprüft.

Die Untersuchungen wurden an Probenserien vorgenommen, die hinsichtlich ihres Feuchtigkeitsgehaltes folgendermaßen konditioniert waren:

- Serie 1: Lagerung bei 20 % Luftfeuchtigkeit bis zur Massekonstanz
- Serie 2: Lagerung unter Wasser bis zur Massekonstanz.

Die Belastung der Proben erfolgte senkrecht zur Gesteinsschichtung.

Ergebnisse:

Im Durchschnitt beträgt die Biegezugfestigkeit der trockenen Proben 3,5 N/mm². Sandsteine bei denen eine enge Packungsdichte festgestellt wurde, besitzen Biegezugfestigkeiten von 4,2 bis 5,8 (MAR 8,6) N/mm². Einige der Sandsteine mit karbonatischen Bindemittelanteilen haben Festigkeiten von 4,8 bis 5,7 N/mm².

Bei allen anderen Sandsteinen liegen die Werte für die Biegezugfestigkeit zwischen 1,5 und 3,5 N/mm². Noch geringere Werte weisen die hochporösen Proben (FBG, BKL, TEU) auf.

Bei den wassergesättigten Proben verringert sich die Biegezugfestigkeit im Vergleich zu den trockenen Proben durchschnittlich um 50 % (*Diagramm 3-12*). Bezüglich der Höhe der Festigkeitsverluste, konnten, wie bei der Druckfestigkeit, keine signifikanten Abhängigkeiten von der Packungsdichte oder bestimmten Bindemittelkomponenten festgestellt werden.

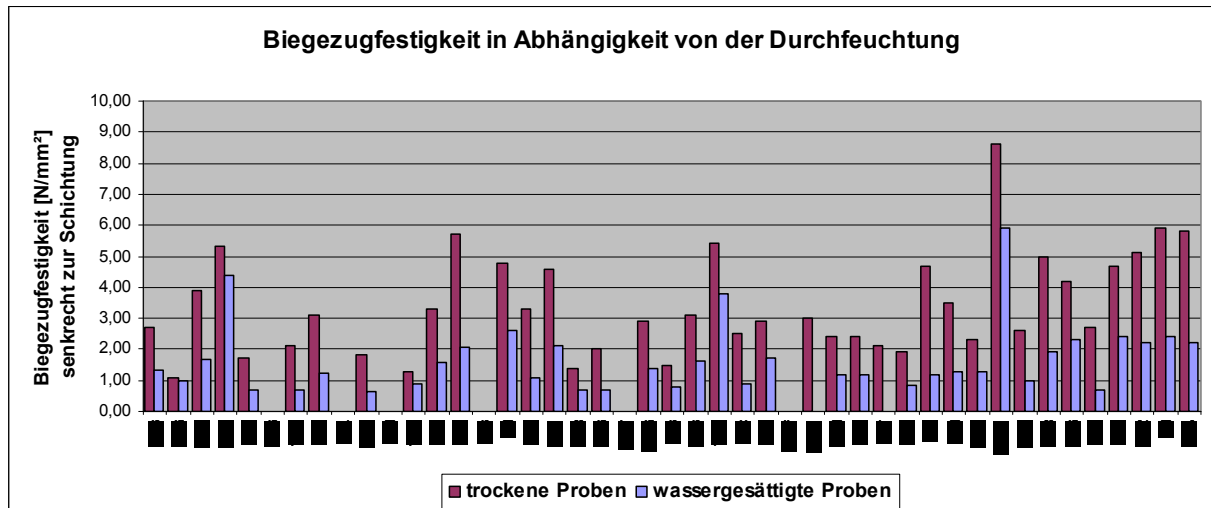


Diagramm 3-12: Biegezugfestigkeiten der Proben in Abhängigkeit von der Durchfeuchtung

Die Einzelergebnisse der Biegezugfestigkeitsuntersuchungen sind in *Tabelle 3-8* dargestellt.




Diskussion:

In dem in DIN 52 100 für die Biegezugfestigkeit nichtquarzitischer Sandsteine angegebenen Bereich von 3 bis 15 N/mm², liegen die Thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine im Bereich des unteren Grenzwertes.

Die Haftung (Kohäsion) der Körner untereinander erfolgt bei den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen vorwiegend über tonig-glimmrige und tonig-ferritische, nur wenig bindende Substanzen, was die niedrigen Biegezugfestigkeiten begründet. Bei den Proben mit höheren ferritischen oder karbonatischen Bindemittelanteilen werden in der Regel auch höhere Festigkeitswerte erreicht.

Der negative Einfluss von Feuchtigkeit auf die Biegezugfestigkeit der Sandsteine liegt, wie bereits bei der Druckfestigkeit beschrieben, in dem hohen Anteil feinsten, meist aus Schichtsilikaten bestehenden Bindemittelkomponenten begründet.

Tab. 3-8: Biegezugfestigkeiten und E-Module bei verschiedenen Feuchtigkeitszuständen

Herkunft	Prüfung	Biegezugfestigkeit nach DIN EN 12372		Statischer E-Modul nach DIN 18 555		Dyn. E-Modul (Ultraschall)
	Einheit	[N/mm ²]		[N/mm ²]		[N/mm ²]
	Zustand	trocken	gesättigt	trocken	gesättigt	trocken
	<div> <div>Prüfrichtung</div> <div>Probe</div> </div>					
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	2,70	1,33	5538	3433	7603
	FBG	1,10	1,00	4224	2198	5715
	ABR	3,90	1,67	5502	2807	8475
	GRU	5,30	4,40	12429	9698	17590
	KVF	1,70	0,70	3412	2489	4665
	KVG	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	TEN	2,10	0,70	2789	1615	4641
	SFA	3,10	1,23	4295	2530	6577
	BKL	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	VOB	1,80	0,65	3572	1398	5108
	OLH	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	TEU	1,30	0,90	3522	1890	4608
	LBG	3,30	1,65	6500	3350	4910
	LBR	5,70	2,07	9083	3650	12483
	HLB	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	HLI	4,80	2,63	14785	8823	18604
	HBS	3,30	1,10	4370	2551	6908
	SAL	4,60	2,10	6222	2924	9107
	UKR	1,40	0,70	4280	1198	9564
	UKG	2,00	0,67	2957	2041	4601
	MVT	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	MVG	2,90	1,40	5454	3139	8264
	TLB	1,50	0,80	3131	2278	4464
	TRB	3,10	1,65	5542	3038	9562
	THR	5,40	3,80	14997	11426	17510
	THS	2,50	0,90	6585	2252	8902
	GTH	2,90	1,70	6374	3678	8251
	ING/f	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	ING/l	3,00	n.b.	6270	n.b.	n.b.
	KLM	2,40	1,20	4871	3387	6040
	RKH	2,40	1,20	4948	3069	7204
	HST	2,10	n.b.	3207	n.b.	n.b.
	HFG	1,90	0,83	3741	2478	4822
	ESL	4,70	1,20	6328	2238	9743
	KHH	3,50	1,30	5377	2487	8365
	WLB	2,30	1,30	4760	2860	7160
Südl. des Th. Waldes	MAR	8,60	5,90	13724	9212	17015
	SWH	2,60	1,00	3858	2535	4984
	BHR	5,00	1,93	7720	3412	12804
	BHG	4,20	2,33	5582	3588	9946
	HFA	2,70	0,70	3491	1341	6499
	HFN	4,70	2,40	5495	3919	11119
	MLZ	5,10	2,20	8852	4366	13283
	AH	5,90	2,40	8868	3875	12167
	SDA	5,80	2,20	8193	2691	11821

3.4.2.3 Statischer und dynamischer E-Modul

Methodik:

Der Elastizitätsmodul kennzeichnet entsprechend des Hook'schen Gesetzes das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung eines Werkstoffs. Je größer sein Wert, desto stärker steigt die Spannung je Dehnungseinheit des Werkstoffs an, also desto spröder ist er.

Bei den Untersuchungen wurden zwei verschiedene E-Module gemessen. Zum einen der statische E-Modul, der als Sekantenmodul aus den Spannungsdehnungslinien berechnet wird und zum anderen der dynamische E-Modul, der einen Kennwert für die Steigung der Spannungsdehnungslinie im Ursprung darstellt.

Die Untersuchungen zum statischen E-Modul wurden nach DIN 18 555 an jeweils 3 Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm) vorgenommen, die hinsichtlich ihres Feuchtigkeitsgehaltes folgendermaßen konditioniert waren:

- Serie 1: Lagerung bei 20 % Luftfeuchtigkeit bis zur Massekonstanz
- Serie 2: Lagerung unter Wasser bis zur Massekonstanz.

Die Belastung der Proben erfolgte senkrecht zur Gesteinsschichtung.

Die Untersuchungen zum dynamischen E-Modul wurden mittels Ultraschalllaufzeitmessung nur an trockenen Prismen (25 % r.F.) vorgenommen. Die Laufrichtung des Ultraschalls erfolgte parallel zu den Schichtungsebenen.

Ergebnisse:

Der statische E-Modul liegt für die Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens zwischen 2,8 und 15 kN/mm².

Besonders hohe E-Module (8 bis 15 kN/mm²) haben die Sandsteine, die eine hohe Packungsdichte und/oder karbonatische Bindemittelanteile besitzen.

Niedrige E-Module (weniger als 4 kN/mm²) besitzen die meisten der rein tonig oder tonig-glimmig gebundenen Sandsteine.

Bei den wassergesättigten Sandsteinen reduziert sich der E-Modul um ca. 43 % (*Diagramm 3-13*) auf 1,2 bis 9,6 kN/mm², wobei hier nicht so deutliche Abhängigkeiten von der Packungsdichte und vom Bindemittel auszumachen sind, wie bei den trockenen Proben.

Die dynamischen E-Modulwerte liegen im Schnitt 45 % über den Werten des statischen E-Moduls, was auf merkliche plastische Verformungsanteile des Materials bei Belastung hinweist. Die grundsätzlichen Tendenzen bezüglich hoher und niedriger Werte stimmen mit denen des statischen E-Moduls überein.

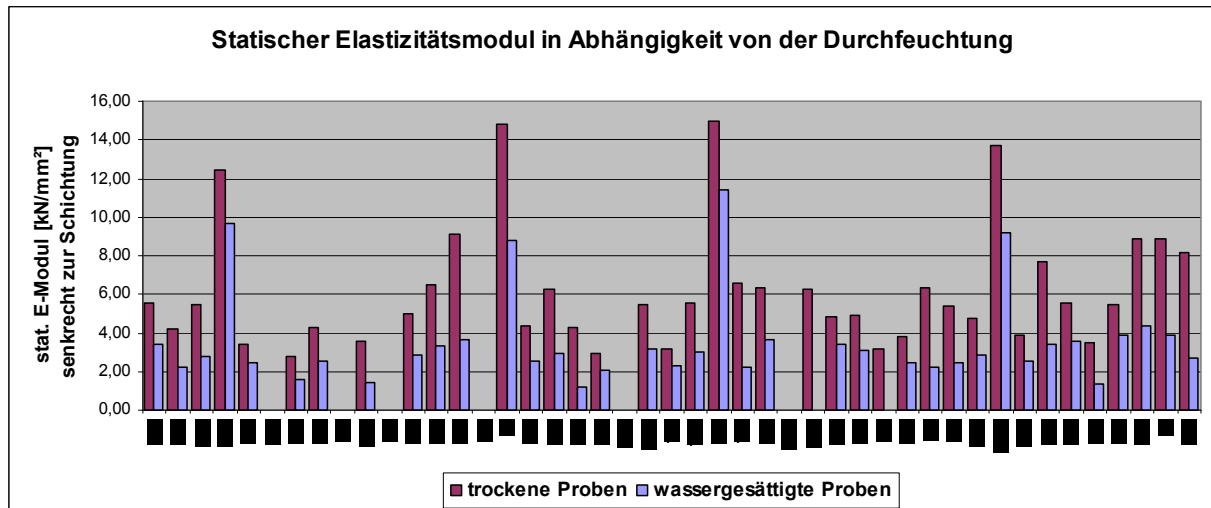


Diagramm 3-13: Statischer Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Durchfeuchtung

Diskussion:

Die Elastizitätsmodule der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine liegen im Schnitt deutlich unter denen der Schilfsandsteine Baden-Württembergs, die statische Elastizitätsmodule zwischen 8 und 12 kN/mm² aufweisen (BOHRMANN 1988, GRASSEGER ET AL. 1990). Die Ursachen dafür liegen in der höheren Porosität und dem überwiegend tonig-ferritischem Bindemittel der thüringischen Sandsteine. Ausnahmen bestehen nur bei den Sandsteinen, die eine hohe Packungsdichte und/oder karbonatische Bindemittelanteile besitzen (Proben GRU, LBR, HLI, THR, MAR, MLZ, AH, SDA).

3.4.2.4 Beständigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechsel

Methodik:

Die Untersuchungen erfolgten nach DIN 52 104 (Verfahren A) an jeweils drei Probewürfeln. Die Proben wurden 20 Frost-Tau-Wechseln unterzogen, anschließend getrocknet und ihre Druckfestigkeit geprüft. Außerdem wurden während des Versuchs die Masseverluste und die optischen Veränderungen erfasst.

Ergebnisse:

Die Untersuchung der Druckfestigkeit der Proben nach 20 Frost-Tau-Wechseln ergab Festigkeiten von 7,7 bis 27,93 N/mm² bzw. Festigkeitsverluste von 7% bis 66% im Vergleich zu den frischen Proben (Tabelle 3-9).

Besonders waren davon Sandsteine betroffen, die Inhomogenitäten oder eine ausgeprägte Schichtung besaßen. Das Herauslösen von Komponenten oder die Zerstörung der Sandsteine in Schichtungsebenen führte dazu, dass eine Bewertung der Frostbeständigkeit über einen Vergleich der Masseverluste nicht möglich war.

So zeigen Sandsteine mit deutlicher Textur plötzlich große Verluste, obwohl die umliegende Matrix noch weitgehend intakt ist (Abbildungen 3-5 und 3-6).



Abb. 3-5: Probe TRB nach 20 FTW



Abb. 3-6: Probe KHH nach 20 FTW

Bei Steinen mit wenig Inhomogenitäten erfolgt die Frostverwitterung dagegen durch mehr oder weniger gleichmäßiges Absanden und Abschuppen. Dabei treten deutliche Qualitätsunterschiede auf. Steine von mäßiger Festigkeit und hoher Porosität sanden wesentlich schneller ab als Steine höherer Festigkeit und geringerer Porosität. Diese weisen nach 20 Frost-Tau-Wechseln in der Regel keine sichtbaren Schäden auf (Abbildungen 3-7 und 3-8).



Abb. 3-7: Probe UKG nach 20 FTW



Abb. 3-8: Probe MLZ nach 20 FTW

Diskussion:

Ein Maß für die Frostbeständigkeit ist der Sättigungswert (vgl. Abschnitt 3.4.1.1), der bei allen Proben über 0,75 (75 % mit Wasser gefüllte Poren) liegt, also in einem Bereich, der eine eher schlechte Frostbeständigkeit erwarten lässt. Die Ursachen sind darin zu suchen, dass das Hauptporenvolumen der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine im Kapillarporenbereich liegt und die Ausgangsfestigkeiten aufgrund der überwiegend geringen Packungsdichte relativ gering sind. Weitere Faktoren für die geringe Frostbeständigkeit sind die abweichenden, deutlich feinere Porenstrukturen in den Tonlagen und das häufige Vorkommen von Inhomogenitäten (z.B. Tonlinsen, Schichtungen oder Mikrokluft), wie die Abbildungen 3-5 und 3-6 eindrücklich belegen.

Tab. 3-9: Druckfestigkeit, Masseverlust und optischer Zustand der Proben nach 20 FTW

Herkunft	Prüfung	Druckfestigkeit nach 20 FTW	Masseverlust nach 20 FTW	Optischer Zustand nach 20 Frost-Tau-Wechseln
	Einheit	[N/mm ²]	[%]	
	Prüfrichtung Probe			
Nördlich des Thüringer Waldes	FBB	25,20	8,06	Absandungen, Abschuppungen
	FBG	8,60	13,80	Abbruch in Schichtung, starke Absandungen
	ABR	32,50	1,15	leichte Kantenausbrüche
	GRU	28,15	0,98	minimale Kantenausbrüche (gerundet)
	KVF	15,63	5,66	Absandungen
	KVG	31,50	0,12	minimale Kantenausbrüche
	TEN	22,10	9,78	leichte Absandungen, Eckausbrüche und beginnende Rissbildung in Schichtung
	SFA	15,40	4,73	leichte Kantenrundung, Absandungen
	BKL	9,10	12,17	Risse in Schichtung, Absandungen
	VOB	13,10	12,52	Absandungen, starke schuppenförmige Kantenabplatzungen, Auswintern von Ton
	OLH	17,60	11,21	Absandungen an Kanten und Flächen
	TEU	9,30	12,69	starke Absandungen
	LBG	20,20	4,02	Absandungen, Auswintern von Tongallen
	LBR	34,70	0,34	kaum Veränderungen, min. Kantenausbrüche
	HLB	13,60	3,10	starke Kanten- und Flächenabsandungen
	HLI	22,50	0,15	kaum Veränderungen
	HBS	22,10	11,55	starker Formverlust durch Absandung
	SAL	25,80	2,50	leichte Absandungen
	UKR	28,55	7,76	Kanten gerundet, Oberflächen schuppen ab
	UKG	12,70	13,70	starke Absandungen, Abschuppungen
	MVT	21,40	4,23	Absandungen auf Kanten und Flächen
	MVG	10,10	1,06	kaum Veränderungen, Bruch in Schichtung
	TLB	7,70	7,39	starke Absandungen und Abschuppungen
	TRB	22,60	1,52	Risse und Brüche in Schichtung, Absandung
	THR	29,40	0,32	kaum Veränderungen
	THS	27,40	0,23	kaum Veränderungen, Riss in Schichtung
	GTH	29,50	0,19	kaum Veränderungen, leichte Absandungen
	ING/f	37,80	0,15	kaum Veränderungen
	ING/i	23,70	5,68	Absandungen
	KLM	22,30	6,93	Ausbrüche an Tongallen, Risse in Schichtung
	RKH	19,10	10,15	minimale Kantenausbrüche, Absandungen
	HST	17,50	9,34	Absandungen
	HFG	18,40	10,63	Absandungen
	ESL	28,70	6,84	Risse in Schichtung, Abschuppungen
	KHH	22,30	7,20	Risse in Schichtung, Kantenrundungen
	WLB	22,30	10,38	Absandungen, Kantenrundungen, Schichtriss
Südl. des Th. Waldes	MAR	43,00	0,50	kaum Veränderungen
	SWH	18,50	10,34	Kanten und Ecken brechen leicht aus
	BHR	34,40	0,15	minimale Kantenabplatzungen (scharfkantig)
	BHG	32,50	0,08	minimale Absandungen
	HFA	27,60	2,18	Kanten beginnen wegzuplatzen
	HFN	35,00	0,11	Kanten beginnen wegzuplatzen
	MLZ	40,20	0,07	keine sichtbaren Schäden
	AH	37,90	0,14	leichte Kantenabplatzung (gerundet)
	SDA	28,60	0,34	minimale Kantenabplatzungen (scharfkantig)

3.5 Wertung der Untersuchungsergebnisse

3.5.1 Allgemeine Merkmale der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

Die petrographischen und gesteintechnischen Untersuchungen an den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Thüringens haben deutlich gemacht, dass es eine Reihe von allgemeinen Merkmalen gibt, durch die Sandsteine charakterisiert werden können. Dazu gehören:

Für das Gefüge:

- Feinkörnigkeit
- Korngrößenspektrum 0,02-0,38 mm (Hauptspektrum 0,04-0,25 mm)
- Sortierung mäßig bis gut
- Einzelkörner überwiegend eckig (häufig spitzwinklig, splittig)
- hohe Porosität
- vorwiegend intergranulare Kapillarporen (zwischen 50 und 150 μm)
- überwiegend unregelmäßig geformte, isometrische Poren
- häufig inhomogene, lagerhafte Ausbildung von Porosität und Bindung

Für den Mineralbestand:

- Quarz: 50-60 %
- Feldspat: 10-25 % (überwiegend Orthoklas)
- Gesteinsbruchstücke: 5-20 %, meist sehr feinkörnig
- Glimmer: 5-10 % (Muskovit und meist stark alterierter Biotit)
- grünliche Minerale in Form von vergrünten Biotiten, seltener Chloriten, und nur in Einzelfällen Glaukoniten in Form von Pellets

Für die Kornbindung:

- überwiegend tonig-ferritische und ferritische Bindemittel als Kornhülle und Zwickelfüllung
- untergeordnet karbonatische und rein tonige Bindemittelanteile
- untergeordnet kieselige Bindung in Form von SiO_2 -Anwachssäumen
- meist mittelbare, mäßige Kornbindung über serizitisch-tonige und tonig-ferritische Substanzen
- meist geringe Packungsdichte, wenig direkte Kornkontakte

Für die technischen Kennwerte:

- | | |
|---|------------------------------------|
| • Gesamtporosität: | 19-30 % |
| • Wasseraufnahme: | 6-15 M.-% |
| • Wasseraufnahmekoeffizient: | 2-23 $\text{kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ |
| • Hygrische Dehnung (25-95 % r.F.): | 0,1-0,7 mm/m |
| • Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85 %): | 21-66 |
| • Druckfestigkeit: | 13-64 N/mm^2 |
| • Biegezugfestigkeit: | 1-7 N/mm^2 |
| • Statischer E-Modul | 3-15 kN/mm^2 |

3.5.2 Unterschiede zwischen den Sandsteinen

Innerhalb der o.g. Grenzen gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Sandsteinen, die eine Einordnung in Gefügegrundtypen mit verschiedenen technischen Eigenschaften zulässt. Diese Eigenschaften spiegeln letztendlich unterschiedliche Qualitäten wider, die auf die Witterungsbeständigkeit und auch auf die Konservierung der Sandsteine Einfluss haben.

Um diese Unterschiede darzustellen und zu definieren, erfolgt nachfolgend durch Vergleich der petrographischen Merkmale und technischen Kennwerte, eine Einteilung der einzelnen Sandsteine in Gruppen, die bestimmten Qualitäten zugeordnet werden.

3.5.2.1 Definition von Qualitätsgruppen / Zuordnung der Sandsteine

Zunächst wurden Grenzwerte definiert, die aus der Spannweite und Häufigkeit der vorliegenden Kennwerte abgeleitet und nicht mit Normwerten für Naturwerksteine identisch sind.

Für die petrographischen Merkmale:

Die petrographischen Merkmale wurden folgendermaßen klassifiziert:

-	nicht vorhanden
((+))	sehr wenig vorhanden
(+)	wenig vorhanden
+	vorhanden
++	stark/reichlich vorhanden
+++	sehr stark/reichlich vorhanden

Beispiel:

Die Probe HFG (vgl. *Abbildung 3-1*, S. 31) zeigt im Dünnschliff ein stark aufgeweitetes Porennetz und eine insgesamt geringe Packungsdichte. Die Kornbindung erfolgt über punktförmige oder längliche Kontakte an den Korngrenzlinien. Das tonige Bindemittel tritt stark zurück. Es gibt wenige sekundäre SiO₂-Anlagerungen. Der Glimmeranteil ist hoch, vereinzelt gibt es alterierte Biotite. Teilweise gibt es ferritische Bindemittelfasern. Die Textur ist undeutlich schichtig.

Die Einordnung für petrographische Merkmale sieht nach o.g. Klassifizierung folgendermaßen aus:

Muskovit kurz/lang:	++/+	karbonatisches Bindemittel:	-
alterierter Biotit:	+	sekundäres SiO ₂ :	(+)
Textur:	(+)	hell-toniges Bindemittel:	+
Sichtbare Porosität:	++	tonig-ferritisches Bindemittel:	+
Packungsdichte:	mäßig	tonig-glimmriges Bindemittel:	-

Für die gesteintechnischen Eigenschaften:

Für die Grenzwertermittlung der gesteintechnischen Eigenschaften wurden die Messwerte innerhalb ihrer Spannweite in folgende drei Bereiche geteilt:

- | | |
|----|--|
| -1 | Unterer Wert: Bereich der das Drittel unter dem Mittelfeld umfasst |
| 0 | Mittlerer Wert: Bereich der das mittlere Drittel umfasst |
| +1 | Oberer Wert: Bereich der das Drittel über dem Mittelfeld umfasst |

Beispiel:

Die Druckfestigkeit der Sandsteine hat eine Spannweite von 13,3 bis 63,3 N/mm². Eine Unterteilung in die drei o.g. Bereiche führt zu folgenden Ergebnissen:

Bereich -1: beinhaltet Festigkeiten von 13,3 bis 30,0 N/mm²

Bereich 0: beinhaltet Festigkeiten von 30,0 bis 46,7 N/mm²

Bereich +1: beinhaltet Festigkeiten von 46,7 bis 63,3 N/mm²

Entsprechend dieser Einteilung wird z.B. die Druckfestigkeit der Probe HFG (β_D 22,2 N/mm²) dem Bereich -1 zugeordnet.

Definition und Zuordnung von Qualitätsgruppen:

Resultierend aus diesen Zuordnungen wurden folgende Qualitätsgruppen definiert, die eine Wertung bezüglich der petrographischen und technischen Eigenschaften der Sandsteine ermöglichen:

- | | |
|-----|------------------------|
| I | Günstige Beurteilung |
| II | Mittlere Beurteilung |
| III | Ungünstige Beurteilung |

Dabei wurde von allgemein anerkannten Qualitätsmerkmalen für die Einschätzung von Werksteinen ausgegangen. Hohe Wasseraufnahmen in Verbindung mit tonigem Bindemittel und hohem Glimmeranteil wurden z.B. als ungünstig, hohe Druck- und Biegezugfestigkeiten dagegen als günstig bewertet.

Beispiel:

Die Probe HFG besitzt eine mäßige Kornbindung, eine hohe sichtbare Porosität und einen hohen Glimmeranteil. Bei den technischen Kennwerten wird sie 9mal ungünstig und 1mal mittelmäßig beurteilt (vgl. *Tabelle 3-10*). Dementsprechend wird der Sandstein insgesamt der Qualitätsgruppe III (ungünstige Beurteilung) zugeordnet.

In *Tabelle 3-10* erfolgt eine zusammenfassende Beurteilung der Eigenschaften aller Proben und eine Zuordnung in Qualitätsgruppen. Diese Qualitätsgruppen stellen eine **relative Bewertung** der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens dar und sind Basis für den anschließenden Vergleich der Sandsteine untereinander.

Tab. 3-10: Bewertung der petrographischen und gesteintechnischen Kennwerte der Sandsteine und Zuordnung in Qualitätsgruppen

Probe	Strati- graphie	Dünnschliffauswertung											Technische Kennwerte											Wertung						
		Korngrößen (Hauptfraktion) [mm]	Muskovit kurz/lang	alterierte Biotite	Bindemittel					Textur	sichtb. Porosität	Kornbindung/ Packung	Rein- dichte	Roh- dichte	Gesamt- porosität	Wasser- aufnahme (Ath.)	Druck- festigkeit ⊥ tr.	Biegezug- festigkeit ⊥ tr.	stat. E-Modul ⊥ tr.	hydr. Dehnung ⊥	WA- koeffizient =	Druck- festigkeit nach 20 FTW	Qualitäts- gruppe							
FBB	kuS	0,10-0,22	+/(+))	++	+	+	-	-	((+))	(+)	+	mäßig	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	II							
FBG	kuS	0,10-0,22	((+))/-	-	(+)	(+)	-	-	((+))	-	+++	aufgeweitet	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	III							
ABR	kuS	0,10-0,15	+/(+)	+	-	++	-	-	(+)	(+)	(+)	eng	-1	1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	1	I							
GRU	kuS	0,10-0,20	((+))	-	(+)	++		+++	(+)	((+))	(+)	eng	0	1	-1	-1	0	1	1	-1	-1	0	I							
KVF	kuS	0,10-0,20	+/-	(+)	++	-	+	-	(+)	(+)	+	mäßig	1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	II							
KVG	kuS	0,10-0,20	((+))	-	((+))	(+)		+++	+	+	(+)	eng	1	1	-1	-1	0	n.b.	n.b.	-1	0	1	I							
TEN	kuS	0,07-0,18	++/(+)	+	-	-	+	-	++	+++	++	eng/mäßig	-1	-1	0	1	0	-1	-1	0	0	0	III							
SFA	kuS	0,10-0,15	-/+	+	++	++	-	-	(+)	+	++	eng/mäßig	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	II							
BKL	kuS	0,12-0,20	(+)	(+)	+	-	-	((+))	+	-	++	aufgeweitet	0	-1	1	1	-1	n.b.	n.b.	1	+1	-1	III							
VOB	kuS	0,09-0,12	++/-	++	++	++	-	-	((+))	(+)	++	mäßig	-1	0	0	1	-1	-1	-1	1	0	-1	III							
OLH	kuS	0,07-0,20	(+)	(+)	-	++	-	-	((+))	+	+	mäßig	0	-1	1	1	-1	n.b.	n.b.	0	0	0	III							
TEU	kuS	0,07-0,15	+/+	+/+	(+)	(+)	-	-	(+)	(+)	++	aufgeweitet	0	-1	1	1	-1	-1	-1	0	1	-1	III							
LBG	kuS	0,12-0,25	+/(+)	+	-	++	+	-	(+)	(+)	+/+++	eng	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	II							
LBR	kuS	0,10-0,22	(+)	-	-	++	-	-	++	(+)	((+))/+	eng	1	0	0	0	1	1	0	-1	-1	1	I							
HLB	kuS	0,09-0,20	((+))	((+))	-	++	-	++	(+)	(+)	(+)+	eng/mäßig	0	0	0	0	-1	n.b.	n.b.	-1	-1	-1	II							
HLI	kuS	0,10-0,25	(+)/-	(+)	-	++	-	+/+++	(+)	(+)	(+)	eng	1	1	0	0	1	1	1	-1	-1	1	I							
HBS	kuS	0,10-0,22	++/(+)	(+)	-	+	-	-	(+)	(+)	+	eng/mäßig	0	-1	1	0	0	0	-1	-1	0	0	II							
SAL	kuS	0,04-0,12	+/(+))	+	-	+	-	-	(+)	+	+	mäßig	-1	0	-1	0	0	1	-1	-1	-1	0	I							
UKR	kmS	0,10-0,22	-/(+)	+	(+)	++	-	((+))	(+)	+	+/+++	mäßig	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0	II							
UKG	kmS	0,05-0,20	+/+	+	+	-	-	-	++	++	++	mäßig	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	-1	III							
MVT	kuS	0,12-0,25	(+)/-	-	-	++	-	++	((+))	(+)	(+)	eng	0	0	0	-1	1	n.b.	n.b.	-1	0	0	I							
MVG	kuS	0,09-0,25	(+)	+	-	+/+++	-	-	+	++	(+)/++	eng/weit	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	II							
TLB	kuS	0,10-0,20	((+))/-	(+)	(+)	-	-	-	(+)	((+))	++	mäßig/weit	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	0	1	-1	III							
TRB	kuS	0,06-0,12	+/+	+	-	+	-	-	(+)	++	(+)/++	eng/weit	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	-1	II							
THR	kuS	0,10-0,27	(+)/-	-	-	+	-	++	+	-	(+)/+	eng	1	0	0	0	0	1	1	-1	-1	1	I							
THS	kuS	0,09-0,16	++/(+)	((+))	-	+	-	-	(+)	(+)	+	mäßig	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	II							
GTH	kuS	0,10-0,20	+/(+))	((+))	-	-	-	((+))	+	++	+	eng/mäßig	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	1	II							
ING/f	kuS	0,11-0,20	(+)	((+))	(+)	++	-	++	(+)	(+)	((+))	eng	1	1	0	0	1	n.b.	n.b.	0	-1	1	I							
ING/l	kuS	0,06-0,20	++/(+)	++	-	+	-	-	(+)	(+)	+	eng/mäßig	1	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	II							
KLM	kuS	0,07-0,22	++	++	-	++	-	(+)	+	+	(+)/++	eng/mäßig	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	II							
RKH	kuS	0,10-0,20	((+))/-	+	+	+	-	-	+	+		eng/mäßig	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	-1	III							
HST	kuS	0,06-0,12	++/+	+	+	+	-	-	(+)	++	+/+++	eng/weit	-1	0	0	1	-1	-1	-1	0	0	-1	III							
HFG	kuS	0,07-0,16	++/-	((+))	(+)	+	-	-	+	(+)	++	mäßig	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	0	1	-1	III							
ESL	kuS	0,07-0,20	(+)/(+)	+	-	++	-	-	++	++	(+)/++	eng/weit	1	1	0	0	1	1	-1	0	-1	0	II							
KHH	kuS	0,10-0,20	(+)/-	+	-	-	-	((+))	(+)	-	(+)	eng (Gerüst)	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	II							
WLB	kuS	0,10-0,20	((+))/-	(+)	(+)	+	-	-	(+)	-	++	mäßig	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	1	0	III							
MAR	kuS	0,10-0,20	(+)/(+)	(+)	+	+	-	-	+	((+))	((+))	eng	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	I							
SWH	kuS	0,09-0,15	(+)/((+))	((+))	(+)	-	-	-	+	(+)	++	aufgeweitet	-1	-1	0	1	-1	-1	-1	0	1	-1	III							
BHR	kuS	0,12-0,22	((+))/-	++	-	+	-	-	++	++	(+)	eng	0	1	-1	-1	1	1	0	0	-1	1	I							
BHG	kuS	0,12-0,25	-/+	((+))	(+)	++	-	((+))	++	-	(+)	eng	1	1	0	-1	1	0	-1	0	-1	1	I							
HFA	kmS	0,06-0,12	++/+++	+	-	-	++	-	(+)	++	(+)	eng	-1	0	-1	0	0	0	-1	1	-1	0	II							
HFN	kmS	0,08-0,15	+/(+)	+	+	++	-	-	(+)	+	(+)	eng	-1	1	-1	0	0	1	-1	0	-1	1	I							
MLZ	kmS	0,09-0,18	+/+	((+))	+	+	-	(+)	++	(+)	(+)	eng	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	I							
AH	kuS	0,12-0,30	(+)	(+)	-	++	-	-	+	-	(+)	eng	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	I							
SDA	kmS	0,04-0,12	((+))((+))	((+))	+	+	-	-	+	-	(+)/+	mäßig	-1	1	-1	-1	1	1	1	0	-1	0	I							
- nicht vorhanden ((+)) sehr wenig (+) wenig + vorhanden ++ stark/reichlich +++ sehr stark/sehr reichlich													-1	Unteres Drittel		0	Mittleres Drittel		+1	Oberes Drittel		I	Günstige Beurteilung		II	Mittlere Beurteilung		III	Ungünstige Beurteilung	

3.5.2.2 Vergleich der Gefügemerkmale

Durch Vergleich der petrographischen Eigenschaften lassen sich für die einzelnen Qualitätsgruppen folgende Gefügemerkmale definieren:

Qualitätsgruppe I:

- höhere ferritische und/oder karbonatische Bindemittelanteile
- relativ enge Kornbindung, höhere Packungsdichte (*Abbildung 3-9*)
- geringere offene Porosität
- wenig ausgebildete Schichtung
- wenig Muskovit

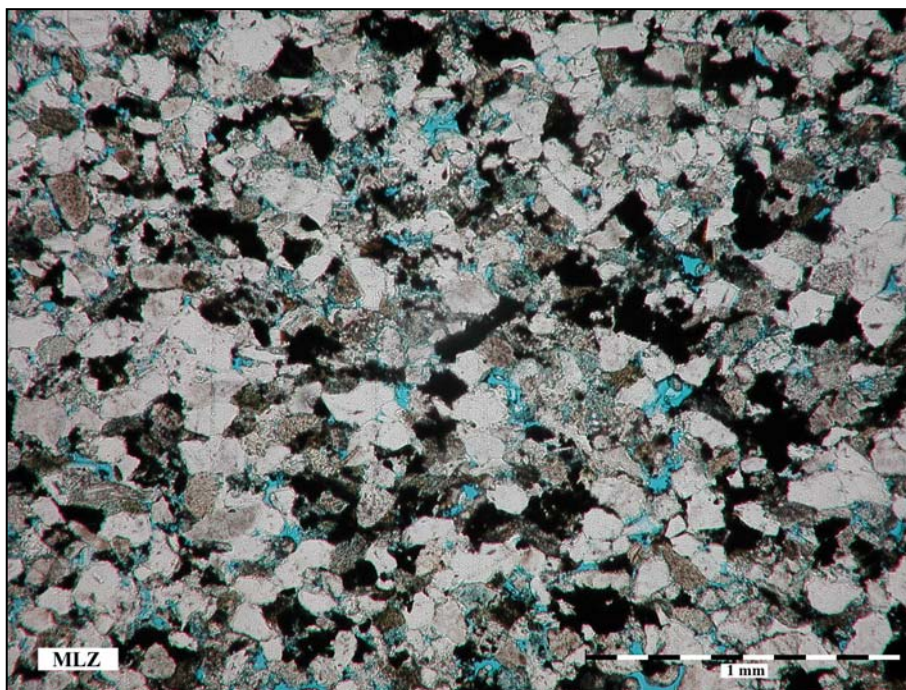


Abb. 3-9: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe I am Beispiel der Probe MLZ

Qualitätsgruppe II:

- häufig eine **deutlich wechselhafte Ausbildung** in den Bindemittelanteilen und in der Porositätsverteilung (*Abbildung 3-10*)
- hoher Anteil an Muskovit, da dieser sich sehr häufig auf Schichtflächen befindet
- petrographische Einzelmerkmale sind in fließenden Übergängen mal mehr der Gruppe I oder der Gruppe III zuzuordnen

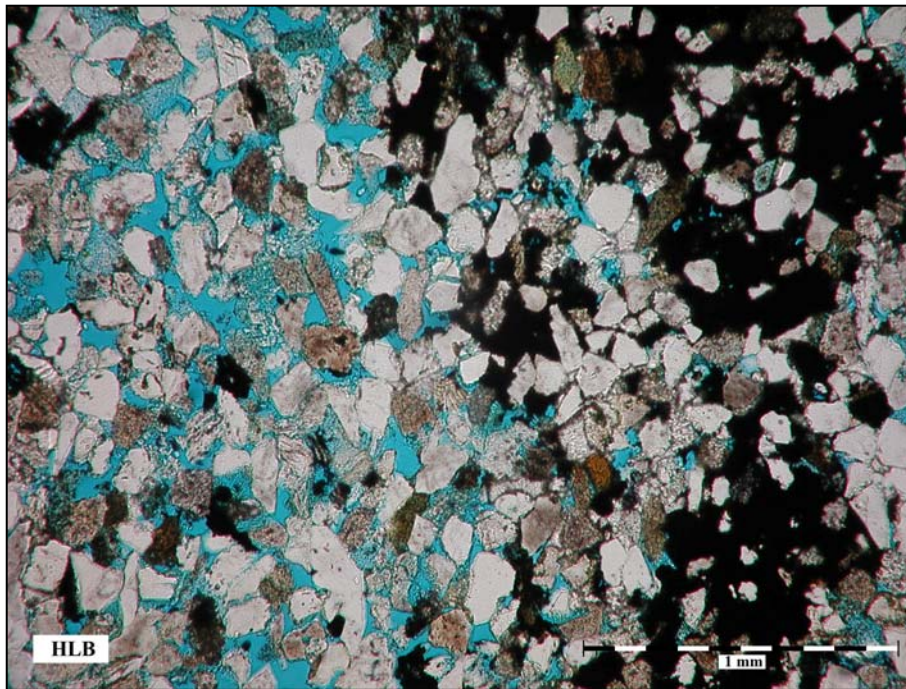


Abb. 3-10: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe II am Beispiel der Probe HLB

Qualitätsgruppe III:

- überwiegend toniges und tonig-glimmriges Bindemittel
- geringe bzw. weite Kornbindung, geringe Packungsdichte (*Abbildung 3-11*)
- hohe offene Porosität
- mittlerer Anteil an Muskovit

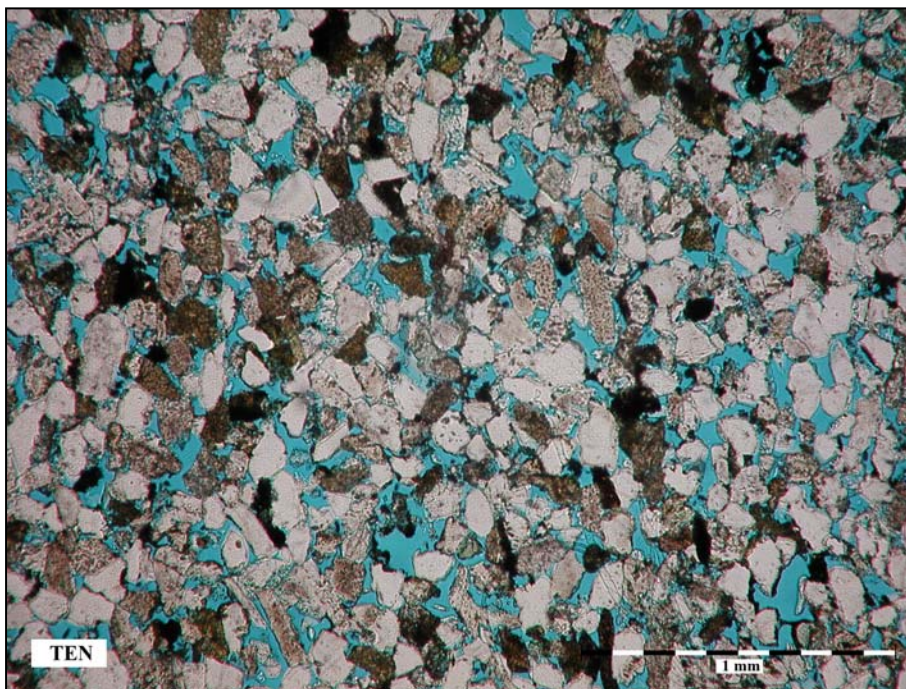


Abb. 3-11: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe III am Beispiel der Probe TEN

Gegenüber diesen signifikanten Relationen besitzen einige petrographische Merkmale keinen oder nur sehr geringen Einfluss auf die gesteintechnischen Eigenschaften bzw. auf die Gruppenzugehörigkeit.

Das betrifft z.B. die SiO_2 -Anlagerung, die insgesamt gering ist und keine deutlichen Anhaltspunkte für bessere oder schlechtere Eigenschaften der Sandsteine erbringt.

Bei vier Fünftel der Proben ist im Dünnschliff eine Textur in unterschiedlicher Intensität, meist in geringem Umfang bzw. nur angedeutet festzustellen. Ein Einfluss auf die Qualitätsgruppen ist nicht auszumachen.

3.5.2.3 Vergleich der technischen Eigenschaften

Der Vergleich der gesteintechnischen Kennwerte lässt für die einzelnen Qualitätsgruppen folgende Einteilung zu (Tabelle 3-11). Bei der praktischen Umsetzung gibt es für jeden Stein mit Sicherheit Überschneidungen zwischen den Gruppen, so dass nur in der Summe der Eigenschaften und unter Berücksichtigung der Gefügemerkmale eine Zuordnung zu einer bestimmten Qualitätsgruppe möglich ist.

Tab. 3-11: Festlegung von gesteintechnischen Kennwerten für die Qualitätsgruppen

Kennwert (Prüfrichtung senkrecht zur Schichtung)	Einheit	Qualitätsgruppe I	Qualitätsgruppe II	Qualitätsgruppe III
Gesamtporosität	[V.-%]	18,5-23	23-27,5	27,5-32
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	6-9	9-12	12-15
Wasserdampfdiffusions- widerstand (0-85% r.F.)	[-]	51-66	36-51	21-36
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m ² h ^{1/2}]	2-9	9-16	16-23
Hygroskopische WA (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2-1,6
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7
Druckfestigkeit, trocken	[N/mm ²]	47-64	30-47	13-30
Druckfestigkeit, gesättigt	[N/mm ²]	30-41	19-30	8-19
Druckfestigkeit, nach 20 FTW	[N/mm ²]	32-44	20-32	8-20
Biegezugfestigkeit, trocken	[N/mm ²]	5-7	3-5	1-3
Biegezugfestigkeit, gesättigt	[N/mm ²]	3,1-4,4	1,8-3,1	0,5-1,8
Statischer E-Modul, trocken	[kN/mm ²]	11-15	7-11	3-7
Statischer E-Modul, gesättigt	[kN/mm ²]	8-11,5	4,5-8	1-4,5

Die angegebenen Bereiche für die Qualitätsgruppen dienen **zur Orientierung** bezüglich der Bewertung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine. Sie besitzen keine Verbindlichkeit im Sinne von Normwerten.

3.5.3 Zusammenhänge zwischen Petrographie und technischen Eigenschaften in Bezug auf die Qualitätsgruppen

3.5.3.1 Einfluss der Petrographie auf die hygrischen Eigenschaften

Porosität - Wasseraufnahme:

Die Proben der Qualitätsgruppe I besitzen hohe Rein- und Rohdichten und damit eine geringe Porosität und Wasseraufnahme. Die Ursache dafür liegt in den tonig-ferritischen bis ferritischen Bindemitteln und z.T. Karbonatanteilen, durch die diese Gruppe charakterisiert ist.

Die Proben der Gruppe III zeigen im Dünnschliff fast durchweg eine hohe Porosität mit meist geringer oder weitständiger Bindung sowie mittlerer bis fehlender Beteiligung ferritischer Substanzen. Dementsprechend sind diese Proben durch niedrige Rein- und Rohdichten und eine hohe Wasseraufnahme gekennzeichnet.

Die Proben der Qualitätsgruppe II umfassen den mittleren Bereich mit teilweisen Überschneidungen in die Qualitätsgruppen I bzw. III. Dies liegt in der wechselhaften Ausbildung der Bindemittelanteile und der Porositätsverteilung begründet.

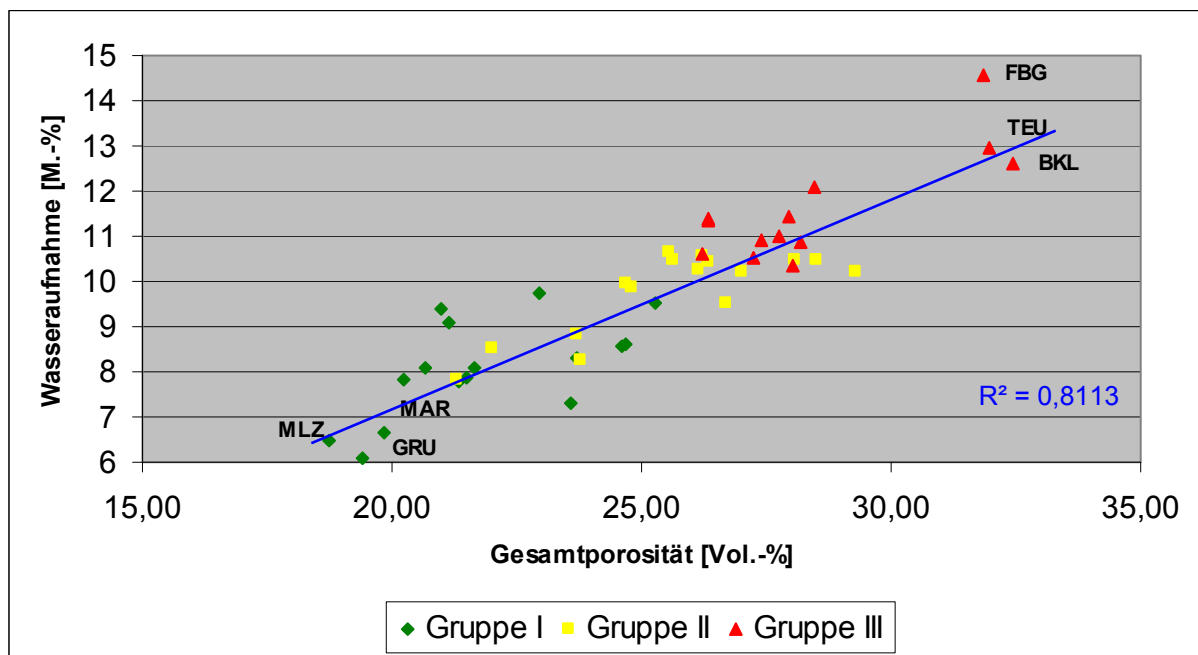


Diagramm 3-14: Abhängigkeit der Wasseraufnahme von der Porosität

Die nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Porosität und Wasseraufnahme wird in Diagramm 3-14 durch das Bestimmtheitsmaß R^2 , das bei 0,8 liegt, deutlich.*

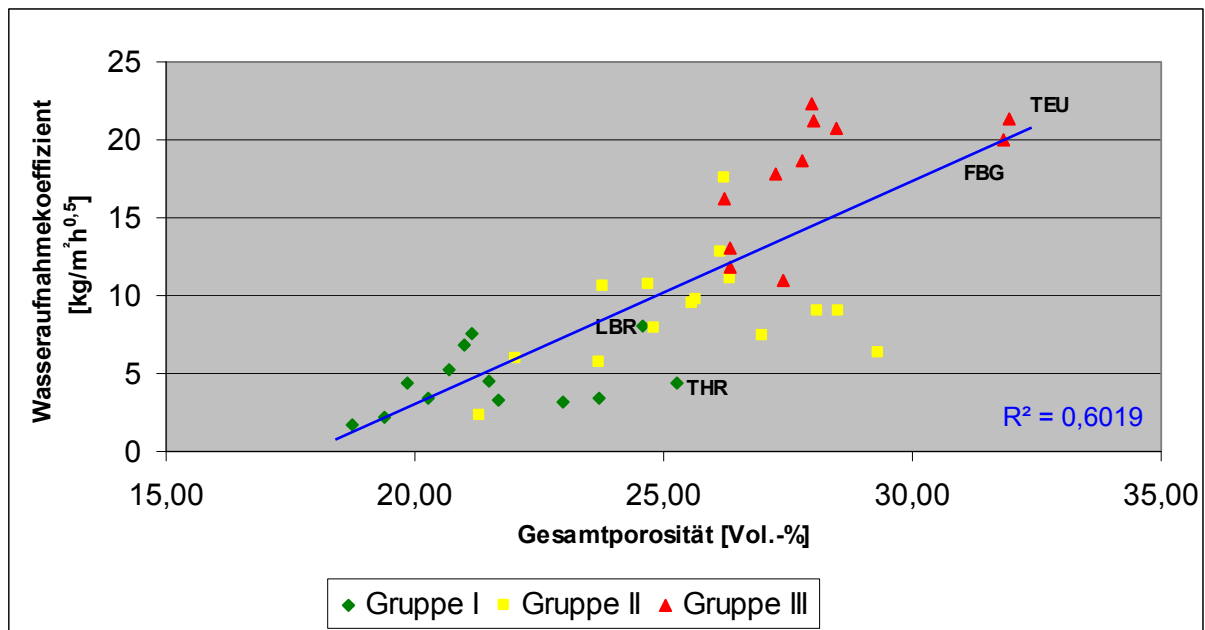
Die Gruppen I und III finden sich überwiegend in den jeweils äußeren Dritteln der Gesamtspannweite wieder.

* Die Maßzahl R^2 (Bestimmtheitsmaß) ist der Prozentanteil der Variation von Y der durch die lineare Regression erklärt wird, und liegt daher zwischen 0 (kein linearer Zusammenhang) und 1 (perfekter linearer Zusammenhang).

Die Proben FBG, TEU und BKL, die der Gruppe III zuzuordnen sind und außergewöhnlich hohe Wasseraufnahmen besitzen, sind gekennzeichnet durch ein extrem aufgeweitetes Gefüge, das in den Dünnschliffen sehr deutlich wird. Die Proben MLZ, GRU und MAR, die der Gruppe I zuzuordnen sind, besitzen jeweils eine besonders hohe Packungsdichte.

Porosität - Wasseraufnahmekoeffizient:

Der Wasseraufnahmekoeffizient ist bei den untersuchten Sandsteinen nur in grober Näherung linear von der Porosität abhängig (Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt nur 0,6). Infolge der, wenn auch geringfügigen, Verengung der Poren durch interkristalline Quellprozesse, kommt es zu Streuungen (Diagramm 3-15).



Porosität - Spezifische Oberfläche - Hygroskopische Wasseraufnahme:

Eine signifikante Abhängigkeit zwischen Porosität und hygroskopischer Wasseraufnahme kann bei den untersuchten Sandsteinen nicht festgestellt werden (*Diagramm 3-16*).

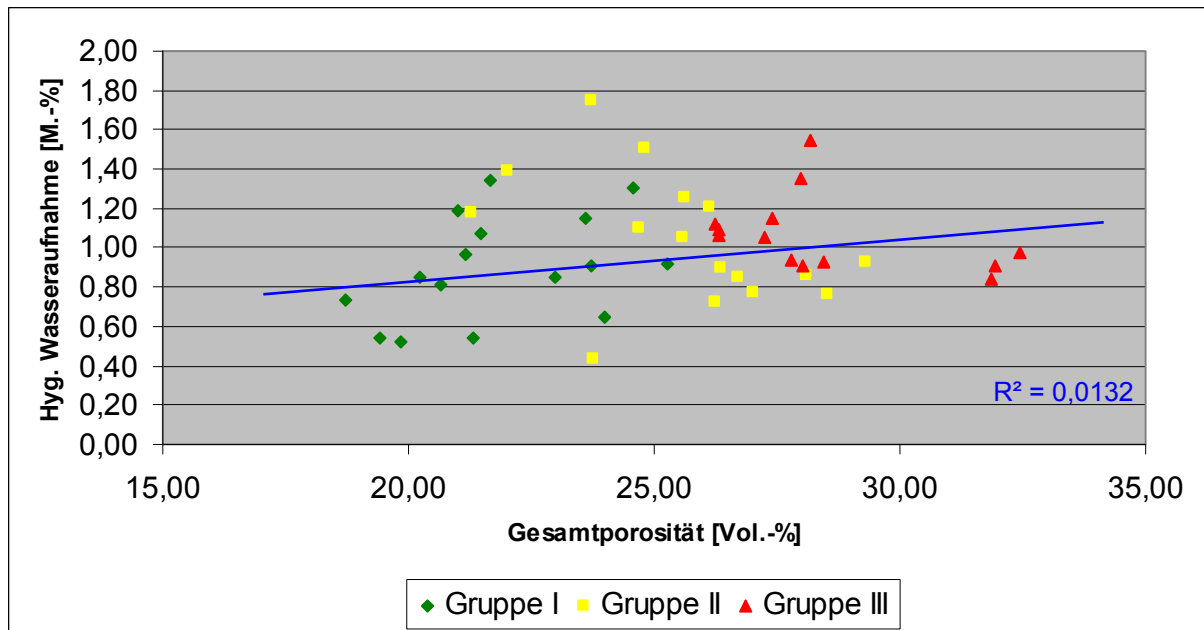


Diagramm 3-16: Abhängigkeit der hygroskopischen Wasseraufnahme von der Porosität

Jedoch spiegelt diese Art der Wasseraufnahme deutlich die innere Oberfläche der Sandsteine wider, was das *Diagramm 3-17* deutlich macht. Je geringer die spezifische Oberfläche ist, umso niedriger ist auch die hygroskopische Wasseraufnahme und umgekehrt. Eine Zuordnung in Qualitätsgruppen ist jedoch durch eine Bewertung der hygroskopischen Wasseraufnahme nicht möglich.

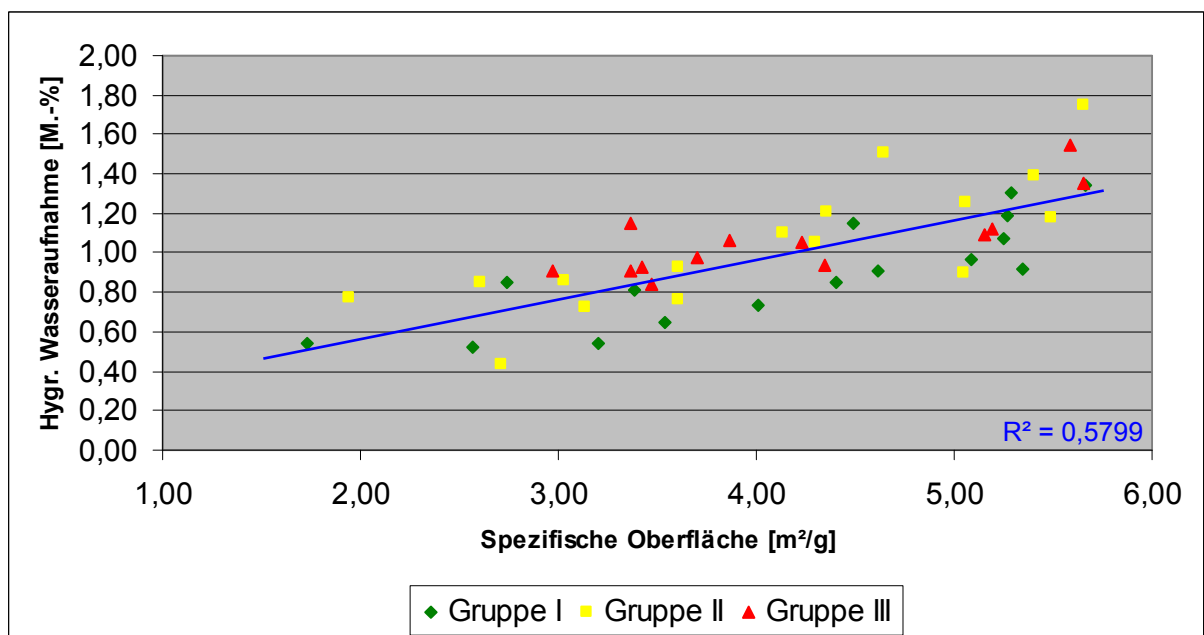


Diagramm 3-17: Abhängigkeit der hygroskopischen Wasseraufnahme von der inneren Oberfläche

Porosität - Spezifische Oberfläche - Hygrische Dehnung:

Ein Zusammenhang zwischen der hygrischen Dehnung und der Porosität ist nur in geringem Maße festzustellen. Da die Einzelwerte erheblich um die Trendlinie streuen, kann von einer signifikanten Abhängigkeit keine Rede sein (*Diagramm 3-18*).

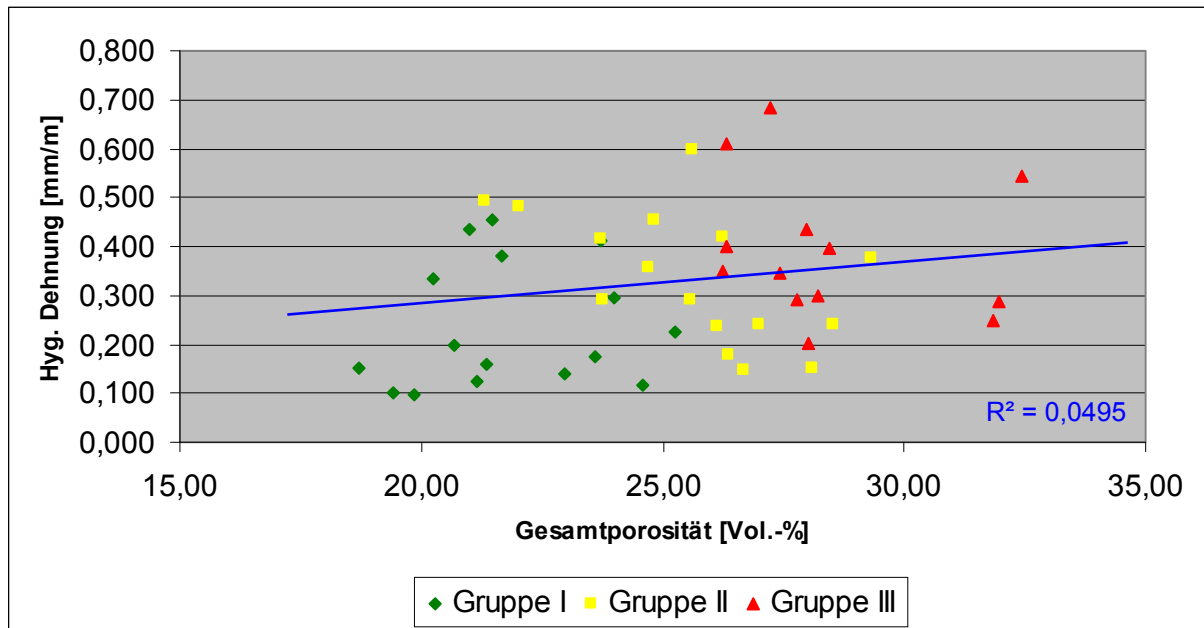


Diagramm 3-18: Abhängigkeit der hygrischen Dehnung von der Porosität

Mit größer werdender innerer Oberfläche nimmt die hygrische Dehnung der Sandsteine zu, eine Eingrenzung der Qualitätsgruppen ist jedoch nicht möglich (*Diagramm 3-19*). Diese Ergebnisse korrelieren mit denen der hygroskopischen Wasseraufnahme, die ähnliche Tendenzen aufweist.

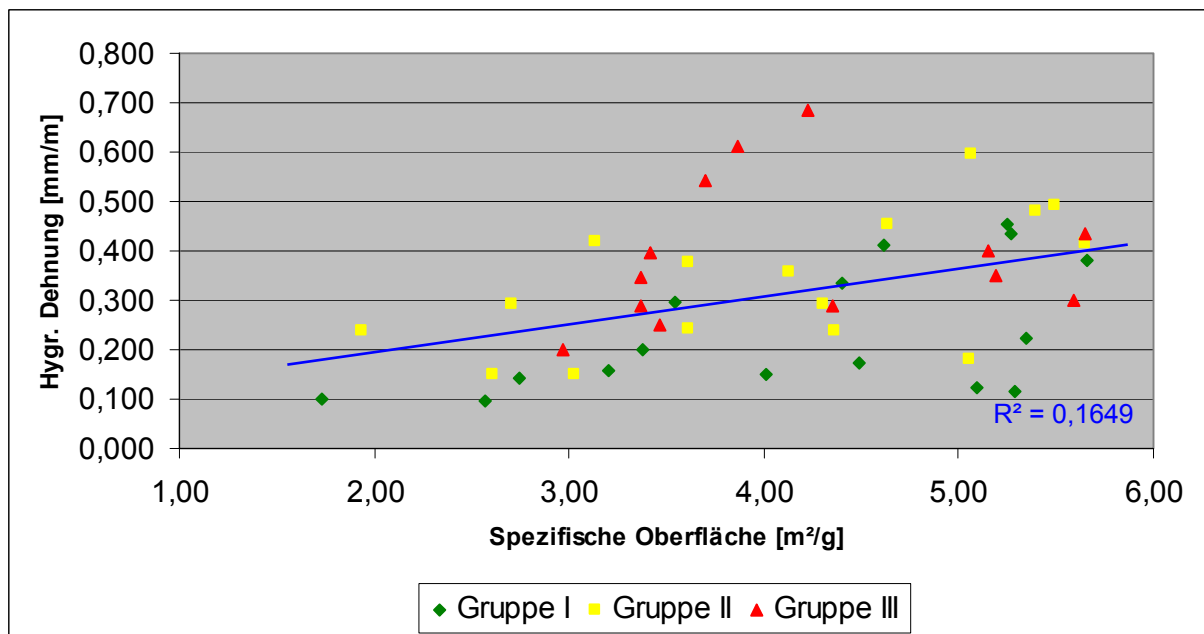


Diagramm 3-19: Abhängigkeit der hygrischen Dehnung von der Inneren Oberfläche

Wasserdampfdiffusionswiderstand - Porosität:

Die Messreihen zeigen eine fast lineare Abhängigkeit der Wasserdampfdurchlässigkeit von der Porosität (Diagramm 3-20). Die Werte verteilen sich deutlich auf die drei Qualitätsgruppen:

- Geringe Porosität und hoher Wasserdampfdiffusionswiderstand in der Gruppe I.
- Mittlerer und hoher Wasserdampfdiffusionswiderstand in der Gruppe II
- Hohe Porosität und niedriger, z.T. nur mittlerer Diffusionswiderstand in der Gruppe III

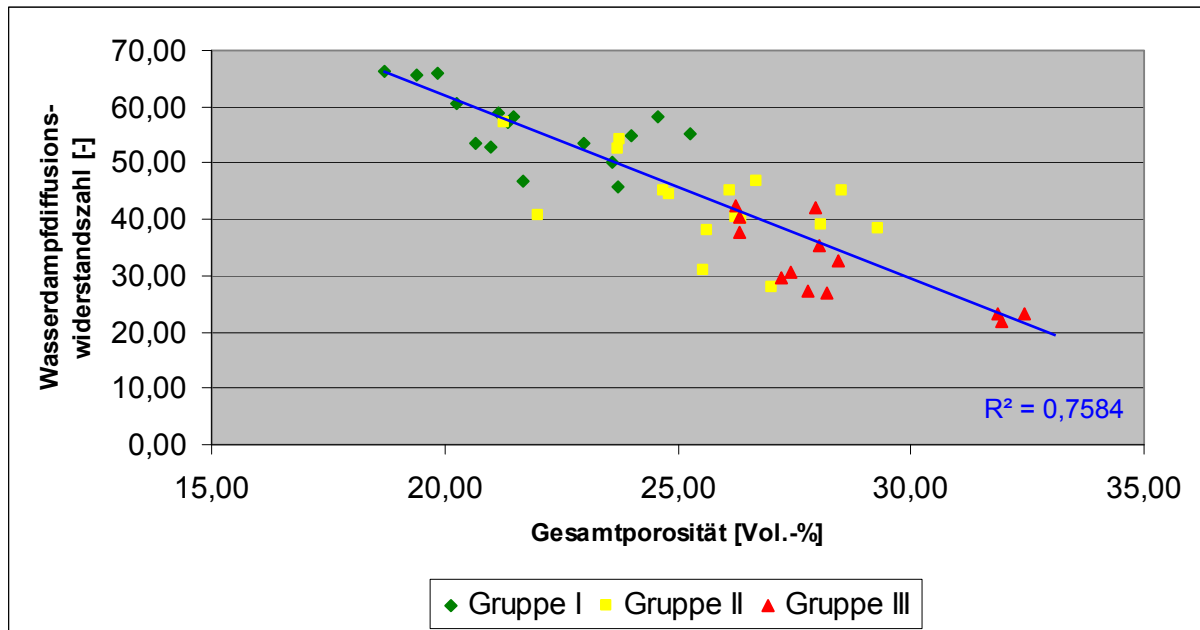


Diagramm 3-20: Abhängigkeit des Wasserdampfdiffusionswiderstandes von der Porosität

3.5.3.2 Einfluss der Petrographie auf die Festigkeitseigenschaften

Die Festigkeitseigenschaften eines Sandsteins sind nach WEISS (1992) von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Innere Festigkeitsverhältnisse der Einzelkörner
- Erhaltungszustand der Einzelminerale
- Festigkeit der Kornbindung
- Korngrößen, Korngrößenverteilung
- Vorhandensein von Inhomogenitäten, Mikrorissen, Schichtungen
- Porenraum und seine Ausbildung

Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse lässt in Bezug auf die Einteilung in Qualitätsgruppen folgende Einschätzungen zu:

Innere Festigkeitsverhältnisse und Erhaltungszustand der Einzelkörner:

Der Mineralbestand der Sandsteine ist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an Feldspäten, Gesteinsbruchstücken und Glimmern. Diese Komponenten weisen unterschiedliche Verwitterungsstadien auf, die zu einer Verringerung ihrer Festigkeit führen. Ein Teil der Gesteinsbruchstücke und Feldspäte ist serizitisch zersetzt. Die Glimmer, insbesondere die Biotite, liegen sehr häufig feinstkörnig, in alterierten Formen vor.

Bei den Muskoviten und Biotiten sind deutlich unterschiedliche Beteiligungen erkennbar. In der Gesteinsgruppe I sind meistens wenige, in der Gruppe II meistens sehr viele und in der Gruppe III mittlere Anteile an Muskovit enthalten. Die alterierten Biotite sind meistens in mittleren Anteilen in Gruppe I und II, dagegen weniger in Gruppe III vertreten. Daraus kann lediglich für die Gruppe I der geringe Muskovitgehalt als ein qualitativ positives Merkmal benannt werden. Bei den Biotiten könnte die relativ starke mittlere Beteiligung in den Gruppen I und II zu einer Verringerung der Gesamtporosität beitragen, da die alterierten Biotite weniger als Glimmerblättchen, sondern mehr als aufgeweitete Fasern vorliegen.

Demgegenüber besitzen die SiO₂-Anlagerungen keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die gesteintechnischen Eigenschaften bzw. auf die Gruppenzugehörigkeit der Sandsteine.

Festigkeit der Kornbindung:

Die Festigkeit der Kornbindung wird zum einen durch die Anzahl der Korn-zu-Korn-Kontakte und zum anderen durch die Haftung der Körner untereinander gekennzeichnet.

Die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine weisen überwiegend nur mittelbare Kornbindungen auf. Kontakte zwischen den Körnern erfolgen meist nur über wenig bindende Substanzen. Dies ist der Grund für die meist geringen Druck- und Biegezugfestigkeiten der Sandsteine im Vergleich mit anderen triassischen oder kretazischen Sandsteinen.

Die geringe Packungsdichte korrespondiert mit hoher Porosität und geringer Festigkeit und umgekehrt. Die Festigkeitswerte verteilen sich sowohl bei der Druck-, als auch bei der Biegezugfestigkeit deutlich auf die drei Qualitätsgruppen (Diagramme 3-21 und 3-22):

- hohe Festigkeiten in der Qualitätsgruppe I
- mittlere und hohe Druck- sowie niedrige Biegezugfestigkeiten in der Gruppe II
- niedrige, z.T. nur mittlere Festigkeiten in der Gruppe III.

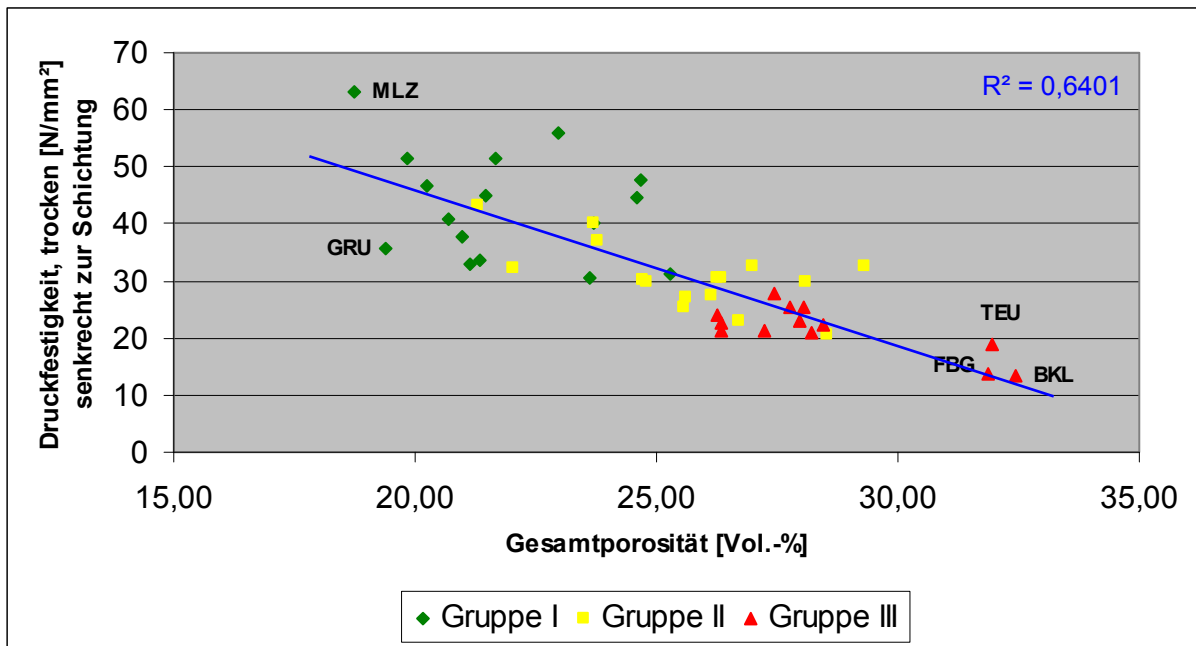


Diagramm 3-21: Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Porosität

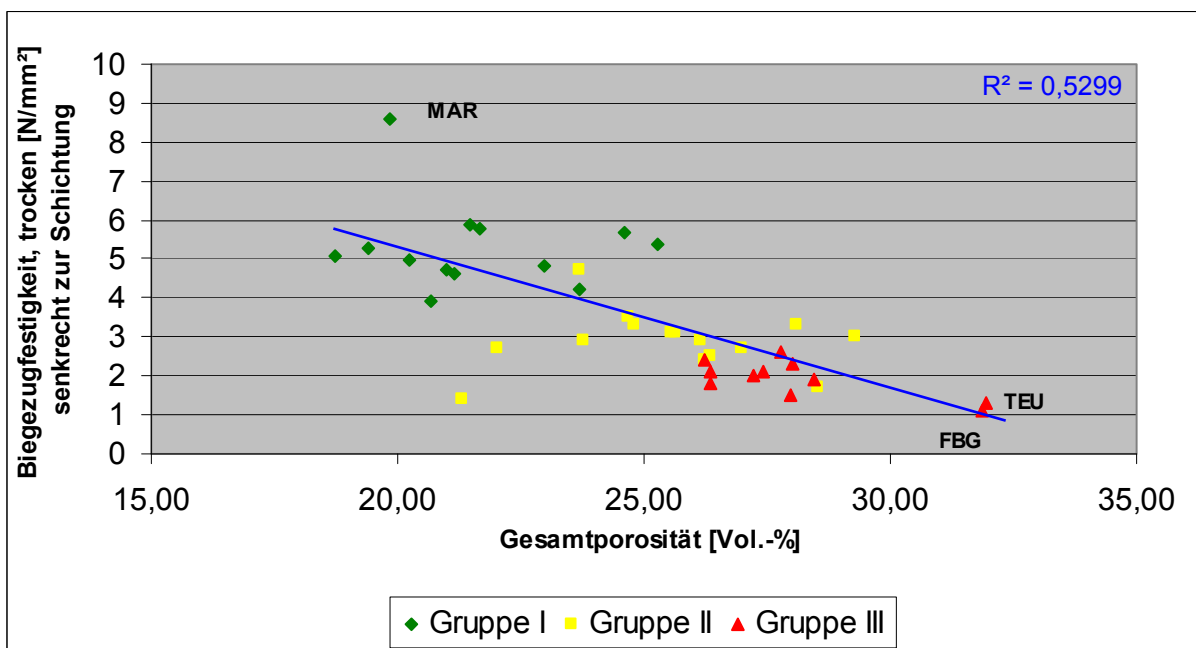


Diagramm 3-22: Abhängigkeit der Biegezugfestigkeit von der Porosität

Sowohl der statische, als auch der dynamische Elastizitätsmodul der Sandsteine ist von der Porosität abhängig (Diagramme 3-23 und 3-24). Dabei ist jedoch festzustellen, dass der Elastizitätsmodul durch lockere Einlagerungen nicht erhöht, die Porosität aber vermindert wird.

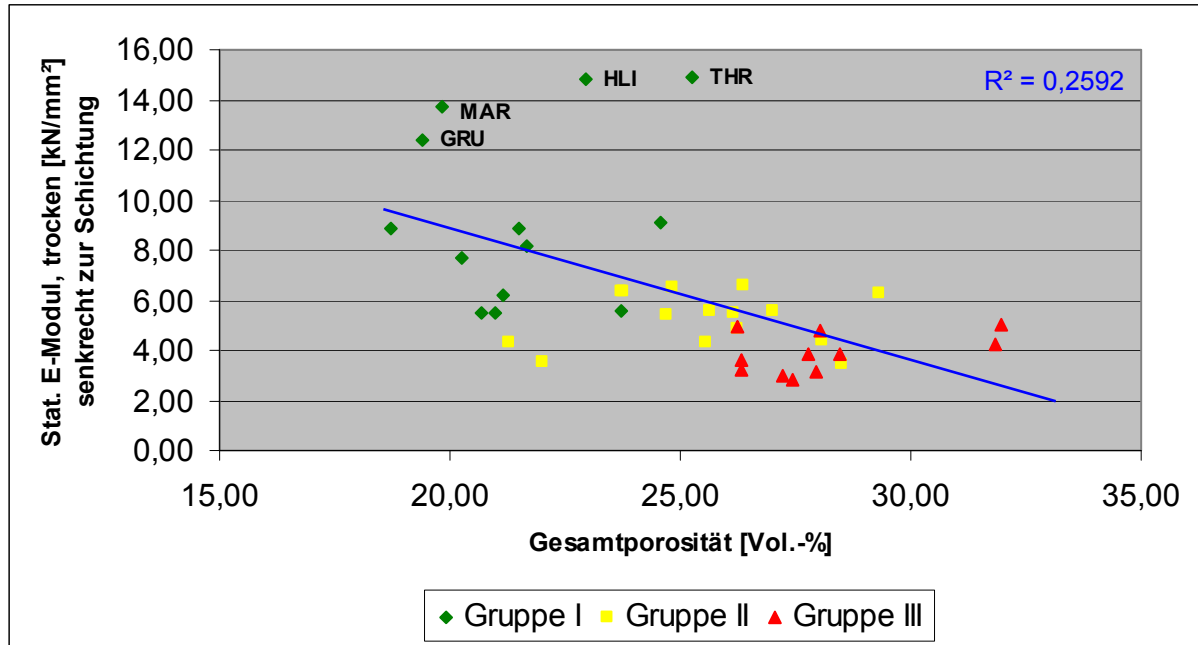


Diagramm 3-23: Abhängigkeit des statischen E-Moduls von der Porosität

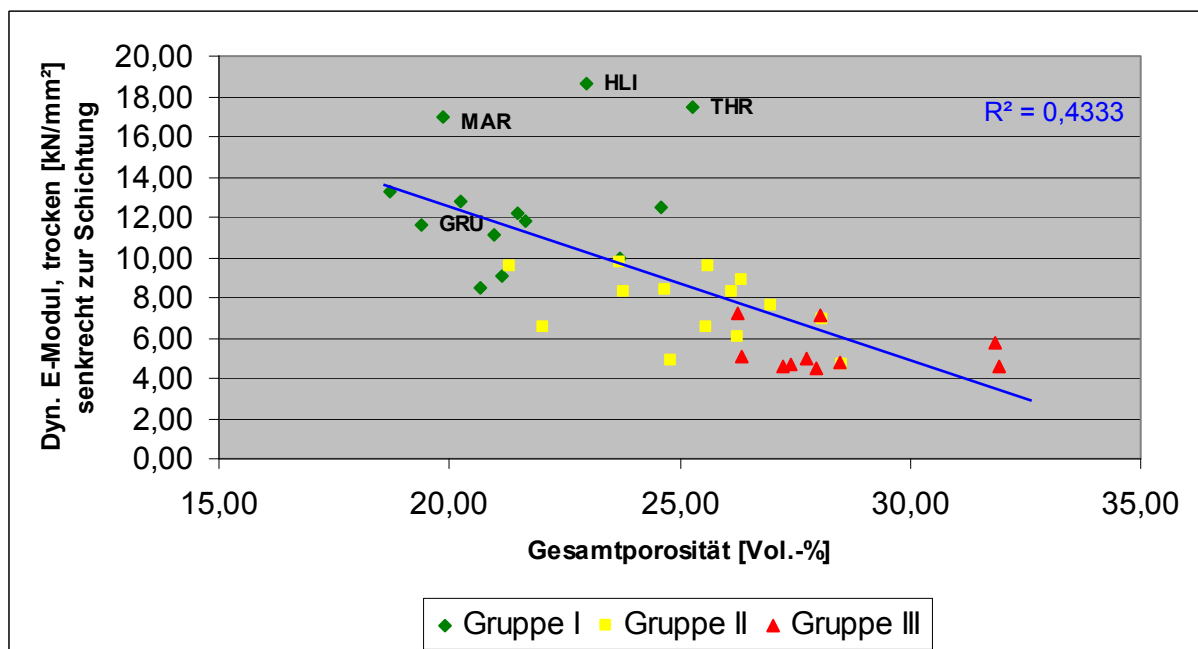


Diagramm 3-24: Abhängigkeit des dynamischen E-Moduls von der Porosität

Die Beziehungen bezüglich der Einteilung in Qualitätsgruppen verhalten sich ähnlich wie bei den Festigkeitswerten:

- mittlere und hohe E-Module in der Qualitätsgruppe I.
- mittlere und niedrige E-Module in der Gruppe II
- niedrige E-Module in der Gruppe III

Besonders hohe E-Module weisen einige, jedoch nicht alle, Sandsteine mit einem relativ hohen Anteil an karbonatischem (Proben HLI, THR, GRU) bzw. kieseligem Bindemittel und direkten Kornkontakten (Probe MAR) auf.

Die Festigkeitskennwerte der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens korrelieren deutlich miteinander (*Diagramm 3-25*). Damit ist es möglich, durch Bestimmung nur einer Kenngröße (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit oder E-Modul) eine Bewertung der Festigkeitseigenschaften vorzunehmen.

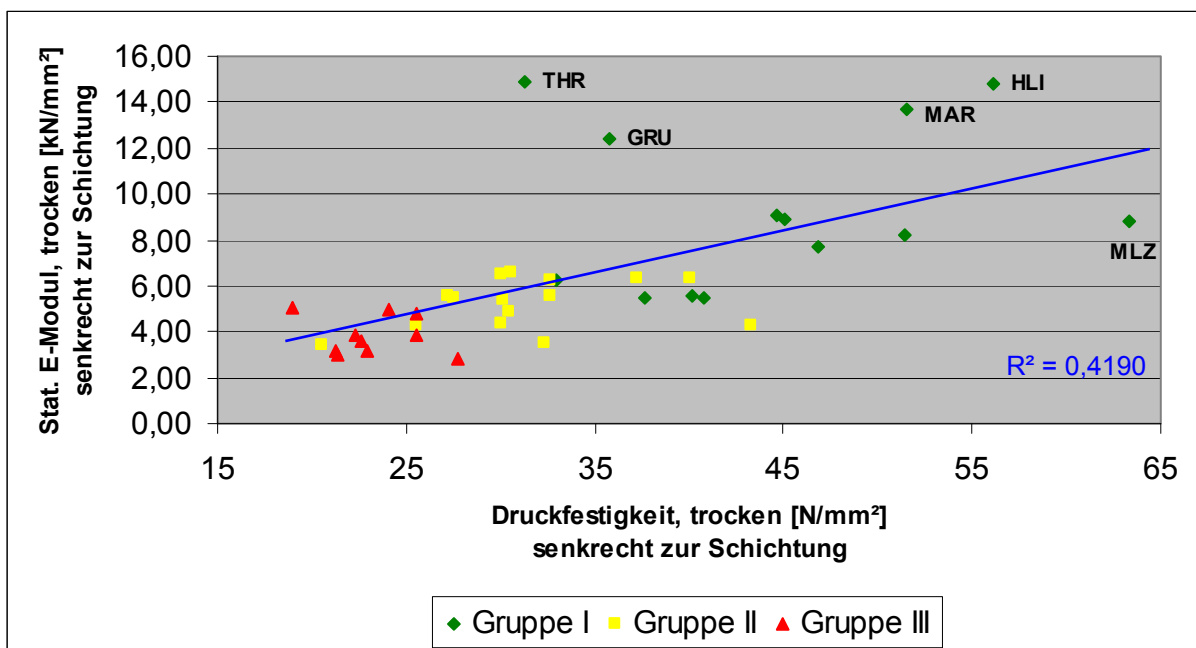


Diagramm 3-25: Abhängigkeit des statischen E-Moduls von der Druckfestigkeit

Korngrößen, Korngrößenverteilung:

Bei den untersuchten Sandsteinen handelt es sich um fein- bis sehr schwach mittelsandige Sandsteine. Die Korngrößen liegen zwischen 0,04 und 0,25 mm, nur in Ausnahmen bis 0,38 mm. Bei den Korngrößen konnten keine Zusammenhänge festgestellt werden, die eine Zuordnung in bestimmte Qualitätsgruppen gerechtfertigt hätte. Es hat zwar den Anschein, dass Steine der Gruppe III mehr im feinkörnigen Bereich liegen und die geringen mittelsandigen Anteile mehr in Gruppe I und II vorkommen, jedoch lassen die in geringen Grenzen variierenden Korngrößen der Sandsteine eine differenzierte Bewertung nicht zu.

Die Sortierung der untersuchten Sandsteine ist mäßig bis gut. Mehrfache Korngrößenwechsel in Lagen treten nur bei ca. 5 bis 10 % der Proben auf. Ein Einfluss der Korngrößenwechsel auf die Festigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Inhomogenitäten, Mikrorisse, Schichtungen:

Die Schichtung der Sandsteine ist unterschiedlich stark ausgeprägt. Häufig gibt es tonig-schluffige oder kohlige Flasern, die die Schichtung nachzeichnen. Vereinzelt treten auch linsenförmige Ton- und Schluffaggregate auf. Auf Schichtflächen finden sich sehr häufig Glimmeranreicherungen.

Der Anteil an Sandsteinen, mit solchen Inhomogenitäten beträgt bei den untersuchten Proben ca. 40 % (vgl. *Tabelle 4-3*). Ein signifikanter Zusammenhang mit den Festigkeitswerten konnte bei den Steinen nicht nachgewiesen werden. Bei der Prüfung des Frostwiderstandes wurden jedoch die negativen Einflüsse der Inhomogenitäten deutlich. Durch das Ausplatzen von Komponenten und das Auffrieren an glimmerreichen Schichtflächen kam es zu einer Zerstörung des Gefüges und damit zu einer Reduzierung der Festigkeit. Dabei ist festzustellen, dass Steine der Qualitätsgruppe I weniger betroffen sind, da sie relativ homogen sind und kaum Texturen aufweisen.

Porenraum und Porenbildung:

Die überwiegend geringen Festigkeiten der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine korrespondieren, wie bereits dargestellt, mit der hohen Porosität. Dabei sind die Qualitätsgruppen deutlich eingrenzbar.

Die Sandsteine besitzen überwiegend intergranulare, offene Poren im Kapillarporenbereich. Die Porenform ist meist unregelmäßig. Der Porenraum schwankt innerhalb enger Grenzen und ist bei ca. 30 % der Sandsteine inhomogen und lagerhaft ausgebildet (vgl. *Tabelle 4-3*). Ein Einfluss wechselnder Packungsdichten auf die Festigkeitswerte konnte nicht nachgewiesen werden.

3.5.3.3 Einschätzung der Verwitterungsbeständigkeit

Die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine besitzen ungünstige Voraussetzungen in Bezug auf ihre Witterungsbeständigkeit.

Das lässt sich aus folgenden petrographischen Merkmalen ableiten:

- wenig direkte Kornkontakte (meist nur mittelbare Kornbindung)
- überwiegend tonig-ferritisches Bindemittel
- geringe Kornbindungskräfte
- wechselnde Bindemittelbeteiligungen (tonig, tonig-ferritisch, ferritisch, karbonatisch), die zu inhomogenen Bindungen beitragen
- instabile, häufig stark tonig und serizitisch zersetzte Gesteinsbruchstücke
- verschiedenartige Inhomogenitäten im Gesteinsaufbau einiger Sandsteine
- hohe und wechselhafte offene Porosität
- hoher Anteil an Kapillarporen
- Feinkörnigkeit und große innere Oberfläche, die ein hohes Potential für den Kontakt von Wasser mit den Inhaltsstoffen bieten

Daraus resultieren technische Eigenschaften, die das schlechte Verwitterungsverhalten der Sandsteine verursachen bzw. es begünstigen:

- relativ geringe Festigkeiten
- hohe Festigkeitsverluste der meisten Sandsteine bei Durchfeuchtung
- hohes Wasseraufnahmevermögen
- hohe bis sehr hohe Sättigungswerte
- relativ große hygrische Dehnung
- schlechte Forstbeständigkeit

Abgeleitet aus den bisherigen Erkenntnissen muss davon ausgegangen werden, dass es beim Verwitterungsverhalten für die drei definierten Qualitätsgruppen der Sandsteine Unterschiede gibt. Um dies zu klären, erfolgten Beobachtungen am Gebäudebestand, die im Abschnitt 4 dargestellt werden.

3.5.4 Regionale Verteilung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine in Hinblick auf ihre Qualitätsgruppen

Sowohl aus den Dünnschliffuntersuchungen, als auch aus den gesteintechnischen Eigenschaften geht hervor, dass fast alle Proben aus Südthüringen günstigere Werte und Beurteilungen aufweisen als die Mehrzahl der Proben aus dem Thüringer Becken (Diagramm 3-26).

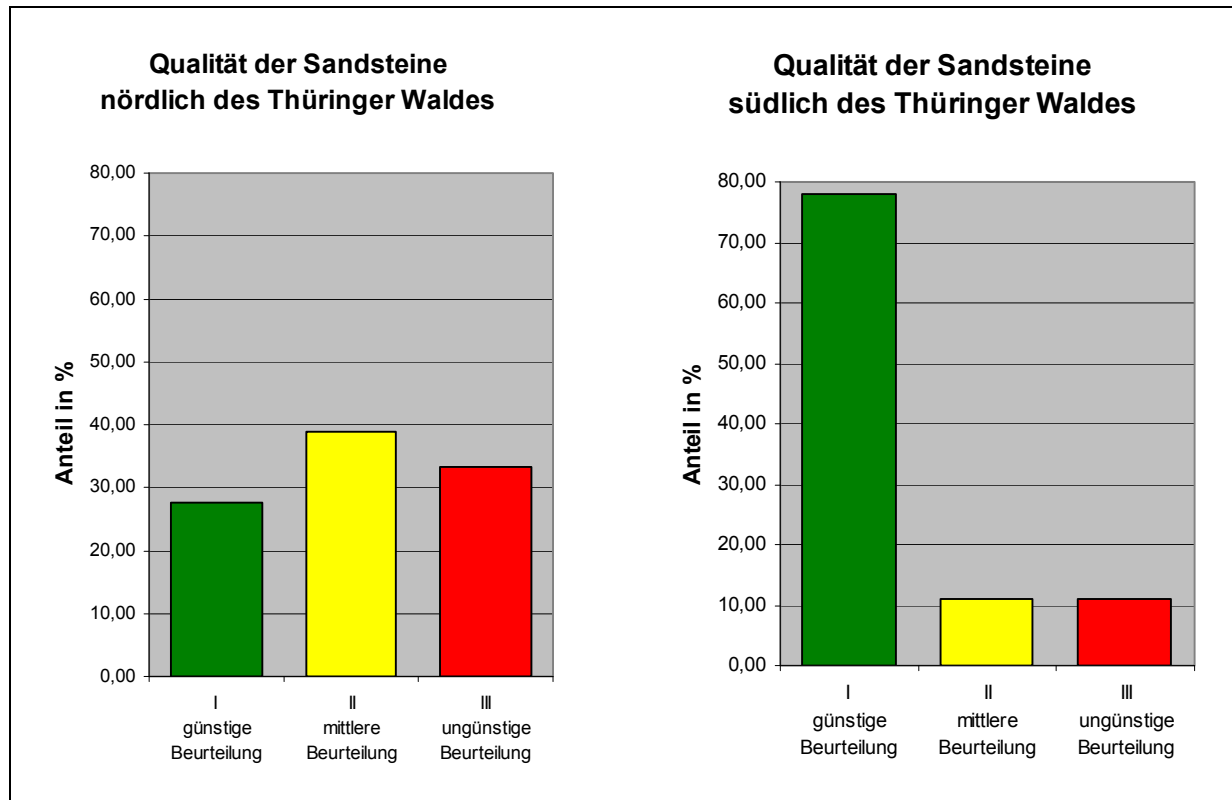


Diagramm 3-26: Regionale Verteilung der Qualitätsgruppen thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

Entsprechend der Gliederung in die drei Qualitätsgruppen gehört von den südthüringischen Sandsteinen nur je eine Probe in die Gruppe II und III. Fast 80 % der Sandsteine sind hier der günstig zu beurteilenden Gruppe I zuzuordnen. Zwar muss dabei berücksichtigt werden, dass in diese Statistik insgesamt nur 9 Proben einfließen, jedoch spricht der überwiegend gut erhaltene Bestand an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in den Gebäuden bezüglich der Qualität eine deutliche Sprache (vgl. Abschnitt 4).

Von den Proben nördlich des Thüringer Waldes sind die meisten in die Gruppe II (39 %), und Gruppe III (33 %) einzuordnen. Der Anteil an Sandsteinen mit günstiger Beurteilung (Gruppe I) beträgt 27 %.

Der Vergleich mit Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen aus Nord- und Süddeutschland (Tabelle 3-1, S. 21) macht deutlich, dass die Eigenschaften der Sandsteine aus dem Thüringischen Grabfeld durchaus mit diesen korrelieren, während die Sandsteine nördlich des Thüringer Waldes überwiegend deutlich höhere Porositäten und Wasseraufnahmen und wesentlich niedrigere Festigkeiten aufweisen.

Eine Erklärung für die überwiegend schlechtere Beschaffenheit der Sandsteine im zentralen Thüringer Becken könnte der Einfluss der sog. „Thüringischen Senke“ sein, die in der Trias hier existierte (Abbildung 3-12).

Es ist geologisch durchaus möglich, dass eine paläogeographisch vorgezeichnete Senkungszone für die Fazies von Einfluss ist, so dass hier geringe Abweichungen in den Ablagerungsbedingungen Auswirkungen auf die Qualität der Sandsteine haben.

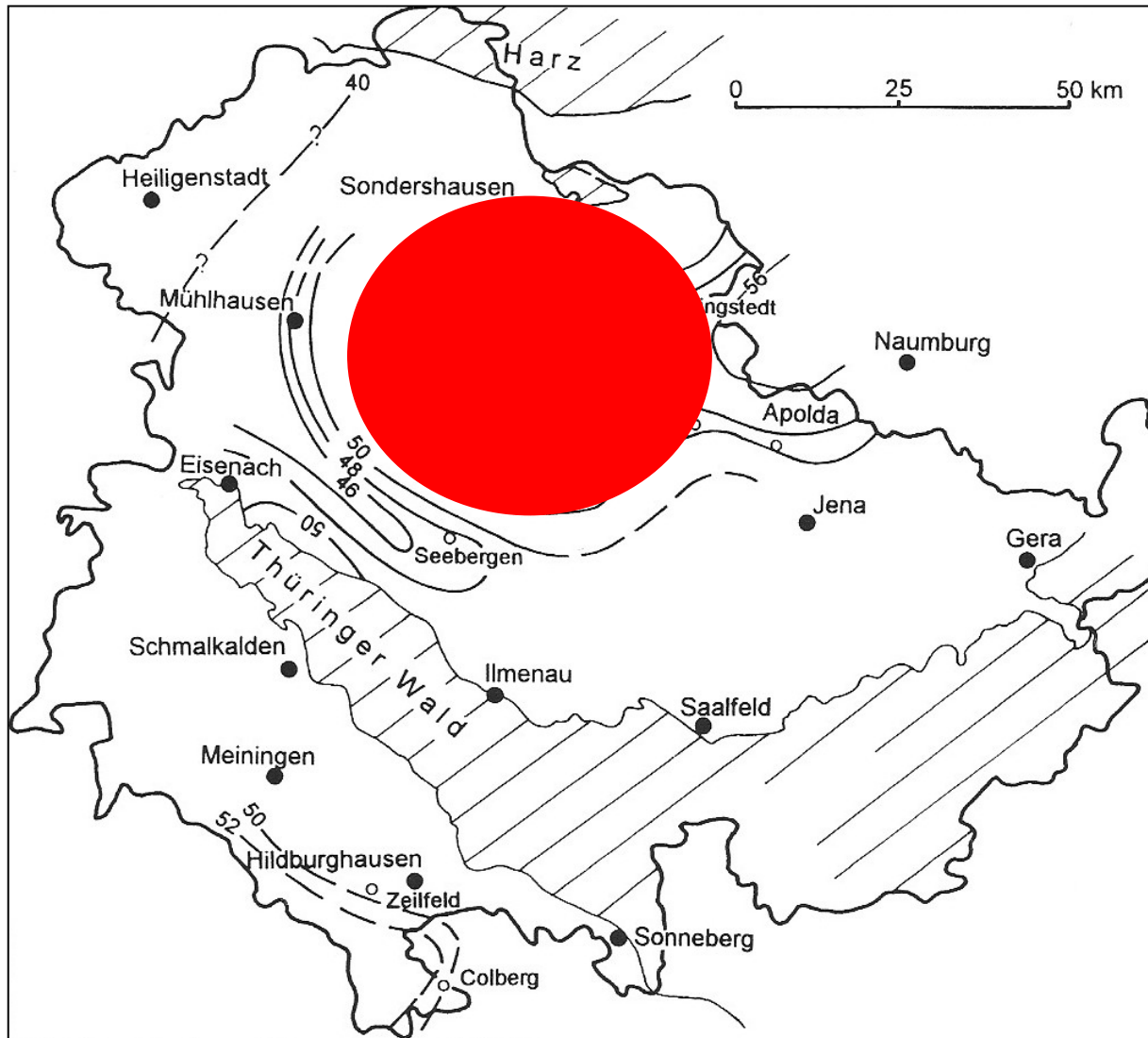


Abb. 3-12: Mächtigkeitsübersicht des Lettenkeupers (nach BEUTLER & SCHUBERT 1987) mit Kennzeichnung des Zentrums der sog. Thüringischen Senke, in dem es die meisten Steinbrüche gibt

Im Bereich der Thüringischen Senke erfolgten nicht nur reine Ablagerungen durch Flüsse (fluviale Fazies) in den sog. Rinnen (siehe Abschnitt 2.1), sondern es herrschte zeitweise auch lakustrines Milieu, d.h. die sandführenden Fließrinnen mündeten bzw. durchflossen flache Binnenseen. (DOCKTER & LANGBEIN 2003; DOCKTER 1995; BEUTLER ET AL. 1999).

Das hat zur Folge, dass hier meist nur mergelige Ablagerungen mit lokalen, geringmächtigen Sandsteineinschaltungen vorkommen, während es im Gebiet des heutigen südthüringischen Grabfeldes, das außerhalb der Thüringischen Senke lag, dickmächtigere Vorkommen in Werksteinqualität gibt (HOPPE 1939).

3.5.5 Vergleich zwischen thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen

Von den untersuchten 45 Sandsteinen sind nur vier Proben aus dem südthüringischen Grabfeld sicher dem Schilfsandstein zuzuordnen. Von den Proben nördlich des Thüringer Waldes gehören wahrscheinlich zwei Proben aus Erfurt zum Schilfsandstein, dies kann jedoch nicht mit Sicherheit festgestellt werden, da die Proben aus dem Gebäudebestand stammen.

In Anbetracht der geringen Probenanzahl ist ein Vergleich zwischen den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen deshalb nur unter Vorbehalt möglich.

Die Auswertung der petrographischen und gesteintechnischen Eigenschaften ergibt zunächst keine Hinweise auf deutliche Unterschiede oder signifikante Unterscheidungsmerkmale zwischen den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen. Diese Beobachtung deckt sich mit den Einschätzungen von HOPPE (1939) und WEISS (1990).

In Hinblick auf die Einordnung in die Qualitätsgruppen ergibt sich folgendes Bild:

Von den vier Schilfsandsteinen aus dem Grabfeld können drei Proben der Qualitätsgruppe I und eine Probe der Qualitätsgruppe II zugeordnet werden. Von den zwei fraglichen Schilfsandsteinen aus dem Thüringer Becken gehört eine zu der Qualitätsgruppe II und eine zur Qualitätsgruppe III.

Damit deuten sich auch hier regionale Qualitätsunterschiede nördlich und südlich des Thüringer Waldes an, die größer sind, als die Unterschiede zwischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen. Die Ursache dafür könnte ebenfalls im Einfluss der, im Mittleren Keuper noch vorhandenen, „Thüringer Senke“ auf die Gesteinsbildung zu suchen sein.

Das Fehlen signifikanter Unterscheidungsmerkmale zwischen den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen erschwert eine sichere Gesteins- bzw. Herkunftsansprache im Gebäudebestand. Hier besteht weiterhin Untersuchungsbedarf! Möglicherweise können feinmineralogische Untersuchungen, insbesondere der Schwerminerale und gezielte Untersuchungen zur Diagenese und Zementation zu neuen Erkenntnissen beitragen. Dabei sollten Schilfsandsteine aus dem benachbarten Franken und gesicherte Proben aus dem Thüringer Becken (z.B. aus Bohrproben, die im Rahmen der geologischen Erkundung gewonnen wurden) mit einbezogen werden.

4 Verwendung und Verwitterungsverhalten der Sandsteine im Gebäudebestand

4.1 Verwendung der Steine am Bauwerk

Die Lettenkeuper- und Schilfsandsteine wurden in Thüringen vom 14. bis zum frühen 20. Jahrhundert für Bauzwecke und Bildhauerarbeiten verwendet. Im Zusammenhang mit der Begutachtung der Steinbrüche erfolgte eine Erfassung und Bewertung des Gebäudebestandes in den umliegenden Ortschaften. Die tabellarische Einzelerfassung befindet sich im **Anhang III**.

Während die Steine als Mauersteine im verputzten Mauerwerk und in Gewölbekellern im gesamten Verbreitungsgebiet häufig verbaut wurden, gibt es hinsichtlich ihrer Verwendung im Außenraum nördlich und südlich des Thüringer Waldes deutliche Unterschiede (*Abbildung 4-1*).

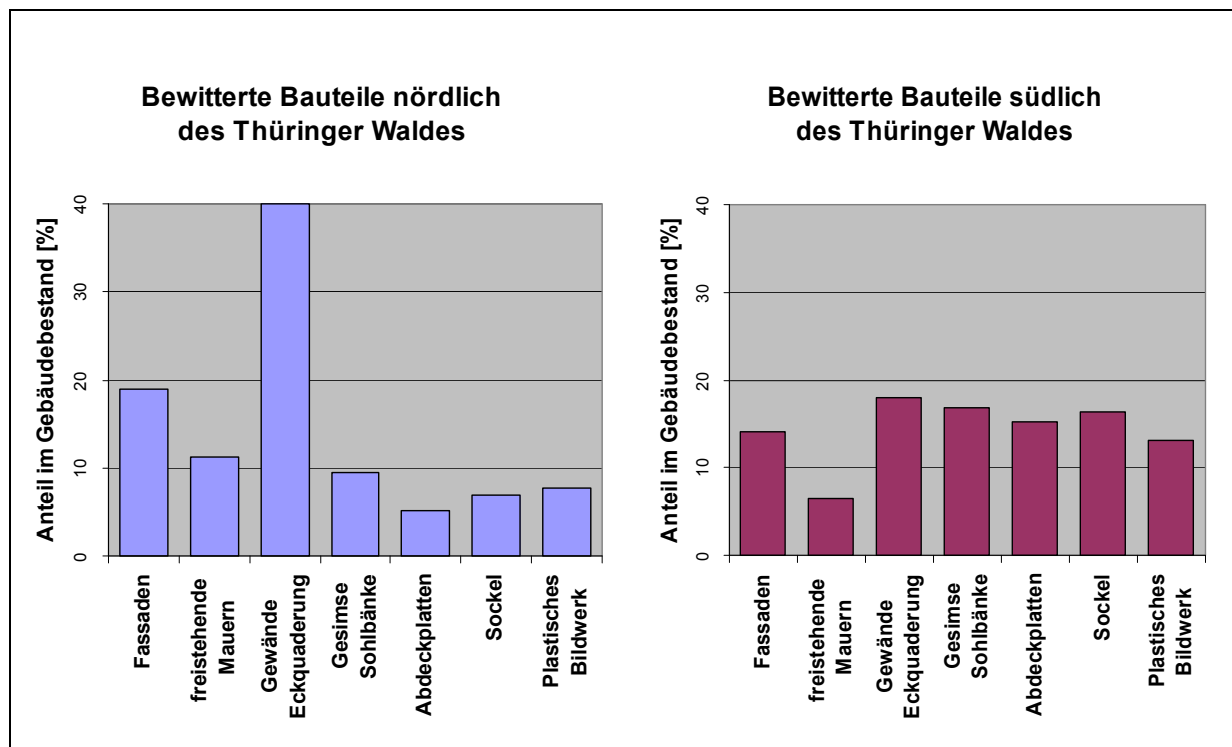


Abb. 4-1: Prozentualer Anteil der Verwendung von Bauteilen aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen im Gebäudebestand Thüringens.

Die Berechnung erfolgte anhand der Verwendungsbeispiele im Anhang III, wobei nur die bewitterten Gebäudeteile einbezogen wurden (keine Keller, kein verputztes Mauerwerk)

Nördlich des Thüringer Waldes, insbesondere im Thüringer Becken, wurden die Sandsteine im Außenraum zwar als Werksteine verwendet, waren dann aber häufig durch Farbanstriche oder Schlämmen geschützt oder in untergeordneten Gebäuden, wie Scheunen, Ställen und Wirtschaftsgebäuden verbaut.

An wasserführenden Bauteilen wie Gesimsen, Sohlbänken und Abdeckplatten kommen sie hier nur sehr wenig vor. Häufig bestehen diese Bauteile aus witterungsbeständigeren Materialien (*Abbildung 4-2*). Dies gilt auch für ihre Verwendung in Sockelbereichen. Hier wurden in der Regel dichtere Materialien (z.B. Kalksteine) verwendet (*Abbildung 4-3*).



Abb. 4-2: Gesims aus Rätsandstein, Pfeiler- und Bogenmauerwerk aus Lettenkeupersandsteinen (Gotha, Schloss Friedenstern)



Abb. 4-3: Sockel aus Muschelkalk, aufgehendes Mauerwerk aus Lettenkeupersandsteinen (Freienbessingen, Stallgebäude)

Südlich des Thüringer Waldes finden sich die Sandsteine sehr oft unbeschichtet an Fassaden, auch an hochwertigen Gebäuden, wie Kirchen und Schlössern und prägen maßgeblich das Bild ganzer Ortschaften im südthüringischen Grabfeld.

Die Sandsteine wurden hier in deutlich höherem Maße als im Thüringer Becken für Gesimse und Sohlbänke, sowie im Sockelbereich verwendet (*Abbildung 4-4 und 4-5*). Ihr Anteil an plastischen Bildwerken im Außenbereich ist ebenfalls größer.



*Abb. 4-4:
Sohlbänke, Gesimse,
Strebpfeiler und
Fassadenwerksteine
aus Schilfsandstein
(Kirche Mendhausen)*



*Abb. 4-5:
Gesimse, Giebel-
abdeckungen und
Fassadenwerksteine
aus Lettenkeuper-
sandstein
(Schloss Bedheim)*

Diese zweckgebundene und differenzierte Verwendung der Sandsteine für bestimmte Bauteile spiegelt indirekt ein Qualitätsmaß wider.

Im Anhang I befindet sich eine tabellarische Erfassung der untersuchten Gebäude und im Anhang II eine fotografische Erfassung von Gebäuden und Objekten aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen. Einen exemplarischen Überblick zur Vielseitigkeit der Verwendung der Sandsteine bieten auch die *Tafeln 2-1 und 2-2 (Seiten 9 und 10)*.

4.2 Verwitterungsverhalten

4.2.1 Bisheriger Kenntnisstand

Das überwiegend tonig-ferritische Bindemittel und die meist nur mäßige Kornbindung der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens bedingen bei stärkerer Feuchtebelastung und/oder häufigem Frost-Tau-Wechsel ein eher schlechtes Verwitterungsverhalten (KATZSCHMANN & LEPPER 1999).

SCHMIDT & ZIMMERMANN (1884) beschreiben die Lettenkeupersandsteine von Ingersleben folgendermaßen: „sie bestehen aus Quarzkörnchen, welche durch ein reichlich dolomithisch-thoniges Bindemittel zu einem nicht sehr festen Gestein verkittet sind; ... Das Gestein saugt Wasser begierig auf und wird dann mürbe und zerfällt leicht, der technische Werth ist deshalb ein mäßiger.“

Für HOPPE (1939) spielen die Keupersandsteine bis auf wenige Ausnahmen, technisch nur eine untergeordnete Rolle, „da sie sich wiederholt als witterungsunbeständig erwiesen haben“. Als Schadbilder für den Gothaer Lettenkeupersandstein beschreibt er tiefgehende Absandungen und Abblätterungen. Der Bedheimer Sandstein „hat sich überall einwandfrei gehalten. Einzelne zu beobachtende Absandungen, Krustenbildungen und Abblätterungen sind anscheinend nur auf den Einfluss emporsteigender Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen.“ Für den Streufdorfer Schilfsandstein beschreibt er an den Sockelsteinen oft Absandungen und Abblätterungen.

KATZSCHMANN (1989) stellt die Lettenkeuper- und Schilfsandsteine als die „witterungsunbeständigsten Gesteine“ des Bezirkes Erfurt dar. Er beschreibt als Schadbilder starkes Absanden bis zur Totalzerstörung und Bröckelverwitterung. Er gibt einen durchschnittlichen Substanzverlust von 20 bis 30 mm in 100 Jahren an.

WEISS (1990) geht etwas differenzierter auf die Schadbilder ein. Er schreibt: „Bei der Betrachtung von Bauwerken wird deutlich, dass der Lettenkohlsandstein (von Bedheim) insbesondere bei mehr oder weniger dauerhafter Durchfeuchtung einer recht intensiven Verwitterung unterliegt. Zwischen Wetterseite und wetterabgewandter Seite sind kaum Unterschiede zu erkennen. Unter Einwirkung von Bodenfeuchte treten Absandungen bis 0,5 cm am Sockel, sowie Abblätterungen – auch senkrecht zur Schichtung – und teilweise Schalenbildung auf. Krusten sind eher nicht feststellbar. Es zeigt sich deutlich, dass bei Werksteinquadern mit glatter Oberfläche ... Verwitterungserscheinungen kaum eintreten. Als äußerst bedenklich ist die Verwendung von grob bearbeiteten Werksteinen (z.B. Bossen) oder gar Bruchsteinen, die Kontakt mit Putz oder Holz haben, einzuschätzen.“

Für den Hindfelder Schilfsandstein schreibt WEISS (1990): „Neben der allgemein guten Erhaltung finden wir besonders in Bodennähe aber auch Übergänge von Bröckelzerfall und Schalenbildung mit blasenartigen Formen.“ Weitere Verwitterungsformen sind Absandung, Abblätterung und Schalenbildung bis 3 cm Stärke. „Die gute Erhaltung von Ornamenten erlaubt die Annahme, dass Schalenverwitterung beim Schilfsandstein eine größere Rolle spielt als die Absandung. Die Position gegenüber Witterungseinflüssen scheint weniger von Bedeutung zu sein.“

SEIDEL (1991) erklärt, dass „trotz der befriedigend erscheinenden gesteintechnischen Eigenschaften ... aufgrund der starken Verwitterung an den Bauwerken, der künftige Einsatz dieser Steine nicht zu empfehlen ist“.

WEISE (2002) beschreibt den Lettenkeupersandstein infolge seines tonig-kalkigen Bindemittels als nicht besonders fest und wetterbeständig. Er soll an der Luft „bald seine scharfen Ecken und Kanten“ verlieren. „Bergfeucht sind die Steine bearbeitbar, werden aber nach der Austrocknung hart und brüchig. Die relativ porösen und lockeren Steine saugen viel Feuchtigkeit und sind an Außenmauern nicht sehr beständig.“

Einige Autoren (WEISE 2002) geben an, dass bei den Lettenkeupersandsteinen Material aus dem sog. Hauptsandstein (kuS2) witterungsbeständiger ist als Material aus dem Unteren Lettenkeupersandstein (kuS1).

PATZELT (1996) nimmt erstmals Simulationsversuche, zum Verwitterungsverhalten an ausgewählten Sandsteinen (Ingerslebener Lettenkeupersandstein und Hindfelder Schilfsandstein) vor und ermittelt diesbezüglich relevante gesteintechnische Kennwerte. Beide Steine werden als verwitterungsunbeständig eingestuft, wobei der Ingerslebener Sandstein anfälliger ist.

Vergleicht man diese Einschätzungen mit denen der Sandsteine des Unteren und Mittleren Keupers aus Franken, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen wird deutlich, dass deren Verwitterungsbeständigkeit ähnlich negativ eingeschätzt wird (GRIMM 1990). So beschreibt LUDWIG (1989) an den als Baustein genutzten Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Baden-Württembergs vorherrschende Schadbilder in Form von Absandungen, Schalen- und Rissbildungen. Ähnliche Schäden sind für den Schilfsandstein aus dem Raum Hildesheim-Bockenem in Niedersachsen bekannt. Einzige Ausnahme sind Schilfsandsteine aus dem Raum Osnabrück-Melle (sowie z.T. auch Lipper Bergland), die Materialkennwerte eines guten Bausandsteins aufweisen (STADLBAUER & NIEMEYER 2007).

4.2.2 Schadbilder

Als Schadbilder finden sich an den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Thüringens vorrangig Absanden, Abschuppen und oberflächenparallele Schalenbildungen. Zum besseren Verständnis, auch in Hinblick auf die Konservierung (Abschnitt 5), werden die typischen Verwitterungsformen nachfolgend erläutert und dargestellt:

Absanden:

Unter Absanden versteht man den Zerfall des Gesteins in Einzelkörner bzw. Einzelmineralien. An den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen tritt dieses Schadbild sehr häufig auf. Es geht mit einer Rundung der Körperkanten und mit dem Verlust der Oberflächenstrukturen und Bearbeitungsspuren einher. Häufig werden Gesteinsschichtungen und Komponenten herauspräpariert (*Abbildung 4-6*).

Je nach Belastungssituation sind vom leichten Absanden bis zu sehr starken Rückwitterungen viele Stadien beim diesem Schadbild zu beobachten (*Abbildung 4-7*). Absandungen können in Extremfällen bis zur völligen Zerstörung führen.



*Abb. 4-6: Kirchheim bei Arnstadt (kuS)
Absanden unterschiedlicher Intensität,
bei dem die Gesteinsschichtung heraus-
modelliert wird*



*Abb. 4-7: Streufdorf im Grabfeld (kmS)
Absanden im Sockelbereich, das durch
intensiven Eintrag von Streusalzen (Treppe)
forciert wird*

Abschalen:

Unter Schalenbildung versteht man eine überwiegend ebenflächig begrenzte äußere Gesteinspartie, die sich über einer Lockerungszone vom Gesteinsinneren einmal oder mehrfach untereinander ablöst. An den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen treten Abschalungen unabhängig von der Gesteinsschichtung bevorzugt parallel zur Oberfläche auf. Der Ablösung der Schale geht fast immer eine entsprechende Rissbildung voraus (Abbildung 4-8 und 4-9).

Nach WENDLER (1991) können bei der Schalenbildung drei Tiefenzonen mit unterschiedlichem Feuchteverhalten unterschieden werden. In der Oberflächenzone erfolgen Durchfeuchtung und Austrocknung, d.h. Quell-Schrumpf-Vorgänge, im raschen Wechsel. Die mittlere Zone ist durch eine rasche Durchfeuchtung (Quellung) und langsame Austrocknung (Schrumpfung) gekennzeichnet. Dagegen wird die Innenzone von Feuchte-Trocken-Wechseln kaum beeinflusst. Diese zeitlich verzögerte Gefügekontraktion während des Trocknungsvorganges erzeugt Spannungen, die zu Abschalungen führen können (WENDLER & HILBERT 2006). Vermutlich spielt aber auch der erhebliche Festigkeitsverlust bei Durchfeuchtung in Kombination mit der hygrischen Dehnung eine wesentliche Rolle bei der Schalenbildung.



Abb. 4-8 und 4-9: Streufdorf im Grabfeld (kmS) - Schalenbildung an einer Sohlbank, nach vorausgegangenen Rissbildungen

Abblättern (Abschuppen):

Abblättern ist das Ablösen einer **sehr flachen** ebenflächigen oder keilförmigen begrenzten äußeren Gesteinspartie vom Gesteinsinneren, häufig mehrfach untereinander ablösend. Bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen sind diese Abblätterungen immer sehr kleinflächig, schuppenförmig ausgebildet (*Abbildung 4-10*).



Abb. 4-10: Kornhochheim bei Erfurt (kuS) - Wand mit Abschuppungen und Abschalungen

Weitere Schadbilder:

Die o.g. Schadbilder treten in unterschiedlichsten Intensitäten und einander überlagernd häufig auf. Der Zerstörungsmechanismus wird bei Anwesenheit von bauschädlichen Salzen noch verstärkt. Bei ungünstigen Expositions- und Einbaubedingungen kann es auch zur Zerbröckelung und zur völligen Zerstörung der Werksteine kommen (*Abbildung 4-11*).



Abb. 4-11: Gotha (kuS) – Starkes Absanden in Kombination mit Abblättern und Abschalen

Krustenbildungen und Verschwärzungen treten dagegen an den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen selten auf. Meist weisen die Sandsteine eine eher „frische“ Farbigkeit auf. Gelegentlich sind Patinierungen in Form von bräunlichen Verfärbungen festzustellen (*Abbildung 4-12*). Die Ursache dafür dürfte im ferritischen Bindemittelanteil zu suchen sein.



Abb. 4-12: Milz im Grabfeld (kmS) – Braunfärbung (Patinierung) einzelner Werksteine

Relativ häufig ist ein starker Befall mit Insekten zu beobachten, die sich ihre Nester in den weichen Stein bauen (*Abbildung 4-13*).



Abb. 4-13: Großenehrich im Th. Becken (kuS) – Insektenbefall im Sandstein

4.2.3 Einfluss von Exposition und Einbausituation

Bei der Erfassung der Schadbilder an Bauwerken konnte festgestellt werden, dass eine Abhängigkeit der Verwitterung von der Himmelsrichtung, d.h. von der Wetterseite und der wetterabgewandten Seite vordergründig nicht vorliegt. Selbst Ornamente, die in unterschiedliche Himmelsrichtungen ausgerichtet sind (z.B. Schloss Bibra, Schloss Bedheim) weisen kein wesentlich unterschiedliches Verwitterungsverhalten auf. Patinierungen oder Verschmutzungsanfälligkeiten sind ebenfalls nicht vorrangig expositionsabhängig.

Dagegen sind deutliche Abhängigkeiten des Verwitterungsverhaltens von der Einbausituation festzustellen. Generell kann man sagen, dass überall, wo Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum hinweg wirksam werden kann oder wo häufig wechselfeuchte Zustände vorliegen, Schäden an den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen auftreten. Bereiche, die durch Niederschlag durchfeuchten, aber schnell wieder austrocknen, sind - mit Ausnahme der Steine der Qualitätsgruppe III - eher nicht von Schäden betroffen.

Dauerfeuchte Bauteile:

In Bereichen mit mehr oder weniger dauerhafter Durchfeuchtung, z.B. unteren Sockelabschnitten im Bereich der Verdunstungszone, kommt es zu recht intensiven Verwitterungen, meist in Form von Absandungen, die zu starken Rückwitterungen führen können (*Abbildung 4-14*). In sehr wenigen Fällen, ist neben der Absandung auch Schalenbildung festzustellen (z.B. Kirche Gleicherwiesen).



Abb. 4-14: Gotha (nördl. Th. Wald) – Starkes Absanden in der Sockelzone in Verbindung mit Spritzwasser und Salzbelastung



Abb. 4-15: Mönchshof (Grabfeld) – Absanden in der Verdunstungszone

Natürlich spielen bei dieser starken Witterungsanfälligkeit auch bauschädliche Salze eine Rolle, die fast immer in Sockelbereichen vorzufinden sind und die Ausbildung von Schäden begünstigen (Abbildung 4-15).

Der hohen Feuchteanfälligkeit der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine ist geschuldet, dass bei der übergroßen Mehrzahl der Gebäude die Sockel aus anderen, dichteren Natursteinen errichtet wurden (vgl. auch Abschnitt 4.1). In den wenigen Fällen, wo Sockelzonen noch gut erhalten sind, handelt es sich um Sandsteine, die mehrheitlich der Qualitätsgruppe I zugeordnet werden können (Abbildung 4-16).



Abb. 4-16: Mendhausen (Grabfeld) – Bei gleicher Einbausituation im Sockel, sind deutliche Qualitätsunterschiede zwischen dem grünen Stein aus Hindfeld (Probe HFA, Gruppe II) und dem gelbbraunen Stein aus Milz (Probe MLZ, Gruppe I) festzustellen

Spritzwasserbelastete Bauteile:

Bereiche, die einer Spritzwasserbelastung unterliegen, z.B. oberhalb von Gesimsen und Sockelvorsprüngen weisen sehr häufig Schalenbildungen, aber auch Abschuppungen und Absandungen auf (Abbildung 4-17).



Abb. 4-17: Gotha (nördl. Th. Wald) – Abschuppen und Abschalen oberhalb des Gesimses aus Rätsandstein

Schlagregenbelastete Bauteile:

Bei diesen Bauteilen handelt es sich meist um Gesimse, Sohlbänke oder Abdeckplatten, die der Niederschlagsabführung am Gebäude dienen. Hier sind in Abhängigkeit vom Gesteinstyp sowohl Schalenbildungen, als auch Absandungen anzutreffen. Sandsteine der Qualitätsgruppe I sind meist von Schalenbildungen betroffen (Abbildung 4-18).



Abb. 4-18: Bibra (Grabfeld) – Abschalen an den Gesimsen

Im Gegensatz dazu tritt bei der Qualitätsgruppe III fast immer Absandung, bis hin zu starken Rückwitterungen auf (*Abbildung 4-19 und 4-20*).



Abb. 4-19: Vippachedelhausen (Th. Becken) – Sehr starkes Absanden an Sohlbank und Gesims aus Lettenkeupersandstein



Abb. 4-20: Großenehrich (Th. Becken) – Rückwitterung der Gesimsabschnitte aus Lettenkeupersandstein. Links am Bildrand, Gesimsteil aus Kalkstein

Dieses Verwitterungsverhalten spiegelt sich deutlich im Gebäudebestand nördlich und südlich des Thüringer Waldes wider. Während im Grabfeld, in dem mehrheitlich Steine der Qualitätsgruppe I anzutreffen sind, relativ häufig auch wasserführende Bauteile aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen errichtet wurden, sind sie im Thüringer Becken kaum vertreten und wenn, dann in einem äußerst schlechten Zustand (vgl. Abschnitt 4.1).

Grenznahe Bereiche zu dichteren Materialien:

Werden Lettenkeuper- oder Schilfsandsteine in unmittelbarer Nachbarschaft zu dichteren Materialien verbaut, so entstehen Schäden in Form von Absandungen (Rückwitterungen), Abblätterungen und/oder Schalenbildungen (*Abbildung 4-21*).



Abb. 4-21: Streufdorf (Grabfeld) – Absanden und Abschalen an einer Inschrift aus Schilfsandstein, die in den Pfeiler aus Muschelkalk eingelassen wurde

Dieses Schadbild ist sehr häufig oberhalb dichter Sockel zu beobachten oder wenn Ver fugungen mit zementhaltigen Materialien ausgeführt wurden und zementhaltiger Putz direkt an die Steine angrenzt (*Abbildung 4-22*).



Abb. 4-22: Rockhausen (nördl. Th. Wald) – Absanden an den Körperkanten der Werksteine, die in Kontakt zum Zementputz stehen

Profile und Körperkanten:

Sehr häufig sind parallel zu Körperkanten (z.B. Eckquadern) oder entlang von Profilen, Riss- und Schalenbildungen festzustellen (Abbildungen 4-23, 4-24, 4-25). Dies betrifft oft auch Kantenbereiche an plastisch gearbeiteten Bauteilen (Abbildung 4-26).



Abb. 4-23: Großballhausen (Th. Becken)



Abb. 4-24: Milz (Grabfeld)



Abb. 4-25: Eishausen (Grabfeld)

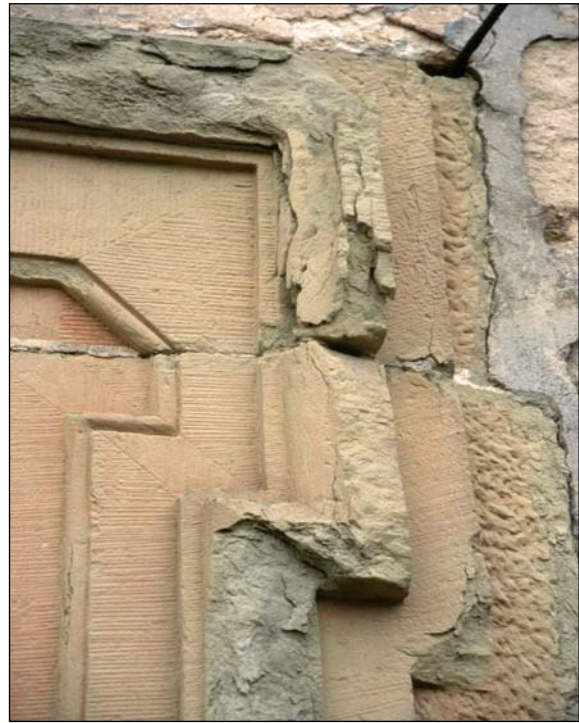
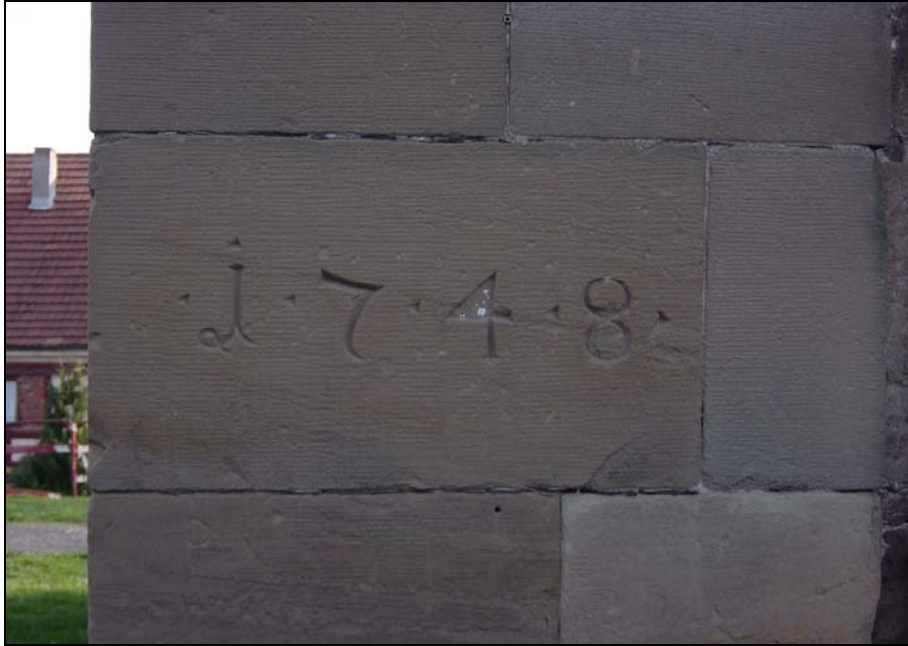


Abb. 4-26: Streufdorf (Grabfeld)

Fassaden / Senkrechte Bereiche:

Diese Exposition beinhaltet Bauteile, die mehr oder weniger senkrecht angeordnet sind, nicht den o.g. Einbausituationen unterliegen und nach Beregnung schnell wieder austrocknen.

Bei Werksteinen der Qualitätsgruppen I und II konnten fast keine Schäden festgestellt werden. Hiebstrukturen sind selbst nach mehreren 100 Jahren noch überwiegend gut erhalten (*Abbildungen 4-27 und 4-28*).



*Abb. 4-27: Eishausen (Grabfeld), Kirche 18. Jh.
Ungeschädigte Beilhiebe an einem Lettenkeupersandstein (entspricht Probe AH)*



*Abb. 4-28: Elxleben (nördl. Th. Wald), Scheune, 18. Jh.
Nahezu ungeschädigte Stockhiebe an einem Lettenkeupersandstein (entspricht Probe ESL)*

Bei Werksteinen der Qualitätsgruppe III treten dagegen Absandungen und Abblätterungen auf, so dass Hiebstrukturen in der Regel nicht mehr erhalten sind. Meist handelt es sich um Steine, die ursprünglich verputzt oder die mit einem Anstrich versehen waren und in den letzten Jahren der freien Bewitterung unterlagen (*Abbildung 4-29*).



*Abb. 4-29: Kleinballhausen (Th. Becken)
Sehr starke Absandungen an Lettenkeupersandsteinen im Mauerwerk*

Einbaurichtung:

Die Einbaurichtung der Werksteine (senkrecht bzw. parallel zur Schichtung) spielt beim Verwitterungsverhalten der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine keine ausschlaggebende Rolle (*Abbildung 4-30*).



Abb. 4-30: Bibra (Grabfeld) – Senkrecht zur Schichtung verlaufende Abschalungen

4.2.4 Einfluss der Steinvarietät (Qualitätsgruppe)

Die o.g. Beispiele machen deutlich, dass es beim Verwitterungsverhalten der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine innerhalb eines engen Spektrums Abhängigkeiten von der Qualität der Sandsteine gibt.

So weisen Sandsteine der Qualitätsgruppe I bei gleicher Einbausituation nicht so häufig Absandungen und Abblätterungen auf, wie die der Qualitätsgruppe III.

Sandsteine der Qualitätsgruppe I schalen, bei ansonst intakten Körperkanten, häufiger auf oder bilden Haarrisse entlang von Körperkanten. Bei der Schadbildgruppe III ist dies weniger oft der Fall, weil es bereits vorher zu so starken Absandungen kommt, dass sich eine Schale, die ja eine gewisse Grundstabilität voraussetzt, gar nicht erst bilden kann.

Scheinbar gibt es auch Abhängigkeiten des Verwitterungsverhaltens von der Farbe der Sandsteine. So sind die rötlichen Sandsteine wesentlich besser witterungsbeständig, als die grünlichen Varietäten (*Abbildung 4-31*). Dies liegt daran, dass die rotbraunen Sandsteine einen höheren ferritischen Bindemittelanteil und damit meist auch höhere Festigkeiten besitzen. Von den insgesamt 10 rötlichen Sandsteinvarietäten, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, konnten 80 % der Qualitätsgruppe I zugeordnet werden. Ähnliches deutet sich im Grabfeld bei der gelbbraunen Varietät des Schilfsandsteins an (Probe MLZ), die ein wesentlich besseres Verwitterungsverhalten als die grünliche Varietät (Probe HFA) aufweist (*vgl. Abbildung 4-16*).



*Abb. 4-31: Roth (Grabfeld)
Stark unterschiedliches
Verwitterungsverhalten roter und
grüner Unterkeupersandsteine bei
gleicher Einbausituation*

Für das Verwitterungsverhalten konnten keine Unterschiede zwischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen festgestellt werden.

4.2.5 Regionale Besonderheiten im Verwitterungsverhalten

Die Sandsteine nördlich und südlich des Thüringer Waldes weisen beim Verwitterungsverhalten Unterschiede auf. Dabei gleichen sich die Schadbilder, es gibt aber Unterschiede hinsichtlich deren Häufigkeit und der Verwitterungsgeschwindigkeit. Es ist zu beobachten, dass im südthüringischen Grabfeld Werksteine aus dem 16. Jahrhundert selbst in beanspruchter Exposition (z.B. Gesimse) zwar geschädigt, aber immerhin noch erhalten sind, während diese Bauteile, bei vergleichbarer Exposition, im Thüringer Becken völlig zerstört oder von vornherein aus anderen Sandsteinen (z.B. Rätsandstein) gefertigt wurden. Absandungen und Abschuppungen kommen nördlich des Thüringer Waldes wesentlich häufiger vor als an den Sandsteinen Südthüringens, bei diesen bleiben Formen und Bearbeitungsspuren länger erhalten (*Abbildung 4-32 und 4-33*).



Abb. 4-32 und 4-33: Barockpfeiler aus Lettenkeupersandstein in Neudietendorf (links) und Bedheim (rechts). Bei gleichem Alter und ähnlicher Exposition sind die Schäden am Sandstein von Neudietendorf (nördlich des Thüringer Waldes) wesentlich stärker ausgeprägt als am Sandstein von Bedheim (südlich des Thüringer Waldes).

Diese Unterschiede sind weniger auf regionale - etwa klimatische - Einflüsse zurückzuführen sondern haben Ihre Ursache in der unterschiedlichen Qualität der Sandsteine. Wie bereits im Abschnitt 3.5.4 dargelegt, überwiegen nördlich des Thüringer Waldes die Sandsteine der Qualitätsgruppen II und III, während im südthüringischen Grabfeld die Steine der Qualitätsgruppe I dominieren.

Warum es innerhalb eines Faziessystems diese Unterschiede gibt, sollte im Rahmen künftiger Arbeiten analysiert werden. Interessant wäre auch die Untersuchung von Qualitätsunterschieden in den unterschiedlichen Horizonten. Für Lettenkeuper- und Schilfsandsteine gilt in besonderem Maße, dass Werksteine aus verschiedenen Bänken eines Vorkommens unterschiedliche petrographische und gesteintechnische Werte aufweisen, wie die Proben FBB/FBG, KVF/KVG, LBG/LBR, HLB/HLI, MVT/MVG, ING-I/ING-f belegen. Dazu wären weiterführende feinmineralogische und diagenetische Auswertungen erforderlich, die nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren.

5 Konservierungsmöglichkeiten für die Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens

5.1 Gegenwärtiger Stand der Steinkonservierung

Durch Konservierung soll der Zustand eines Denkmals, wie er sich heute darstellt, erhalten und möglichst für die Zukunft gesichert werden (lat.: conservare = bewahren). Ziel der Konservierung ist es, weiteren Verlusten vorzubeugen, den Zustand zu sichern und den Verwitterungsprozess zu verlangsamen (MEISEL 1988).

Der Ansatz der Steinkonservierung besteht, je nach Schadensfall, darin:

- Wasser vom Stein fernzuhalten (z.B. durch bauliche Maßnahmen, Oberflächenbeschichtung, Hydrophobierung, konservatorische Stenergänzungen)
- geschädigtes bzw. verloren gegangenes Bindemittel zu ersetzen (z.B. durch Steinfestigung)
- den Einfluss schädigender Auflagerungen, Materialien oder Bestandteile zu reduzieren (z.B. durch Reinigung, Salzreduktion, Entfernung ungeeigneter Mörtel, Verringerung des hygrischen Quellens)

Die Konservierung von Natursteinen besitzt in Deutschland eine lange Tradition. Die verwendeten Mittel und Applikationstechniken haben sich im Laufe der Zeit in Anlehnung an den aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung verändert. *Abbildung 5-1* enthält eine Übersicht zu den historischen und aktuellen Produkten in der Steinkonservierung.

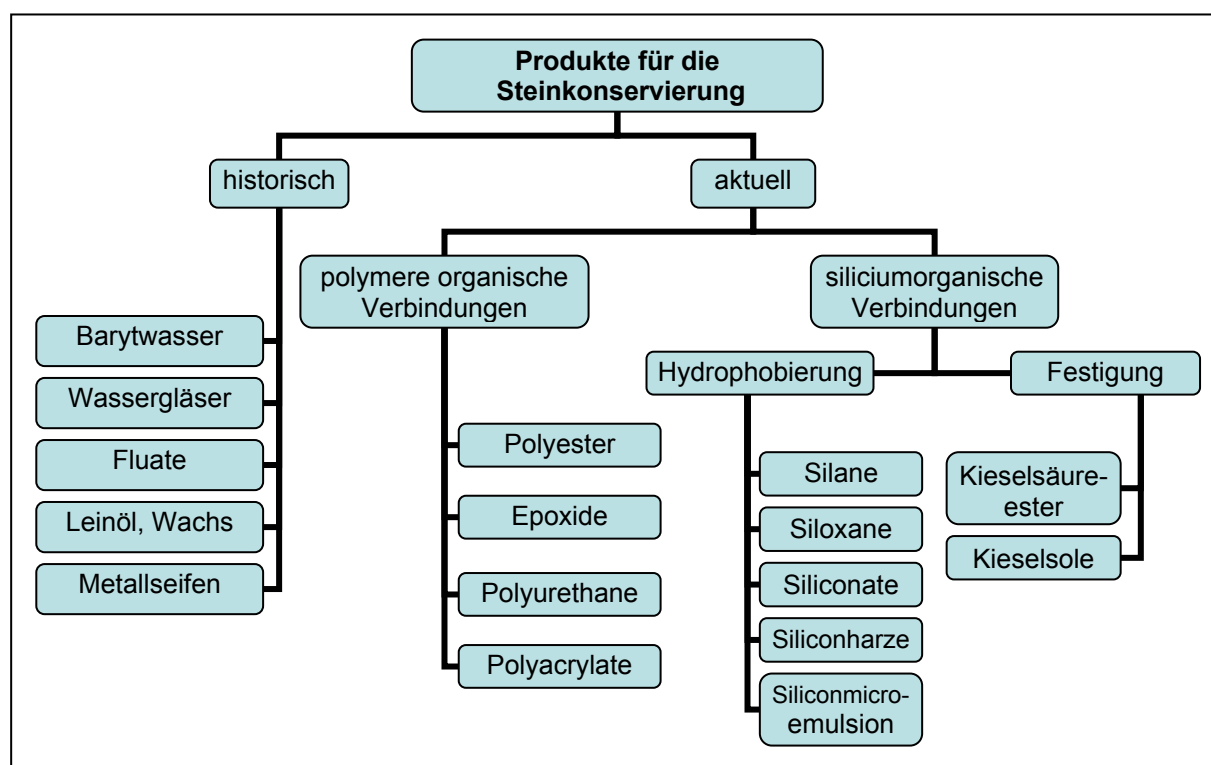
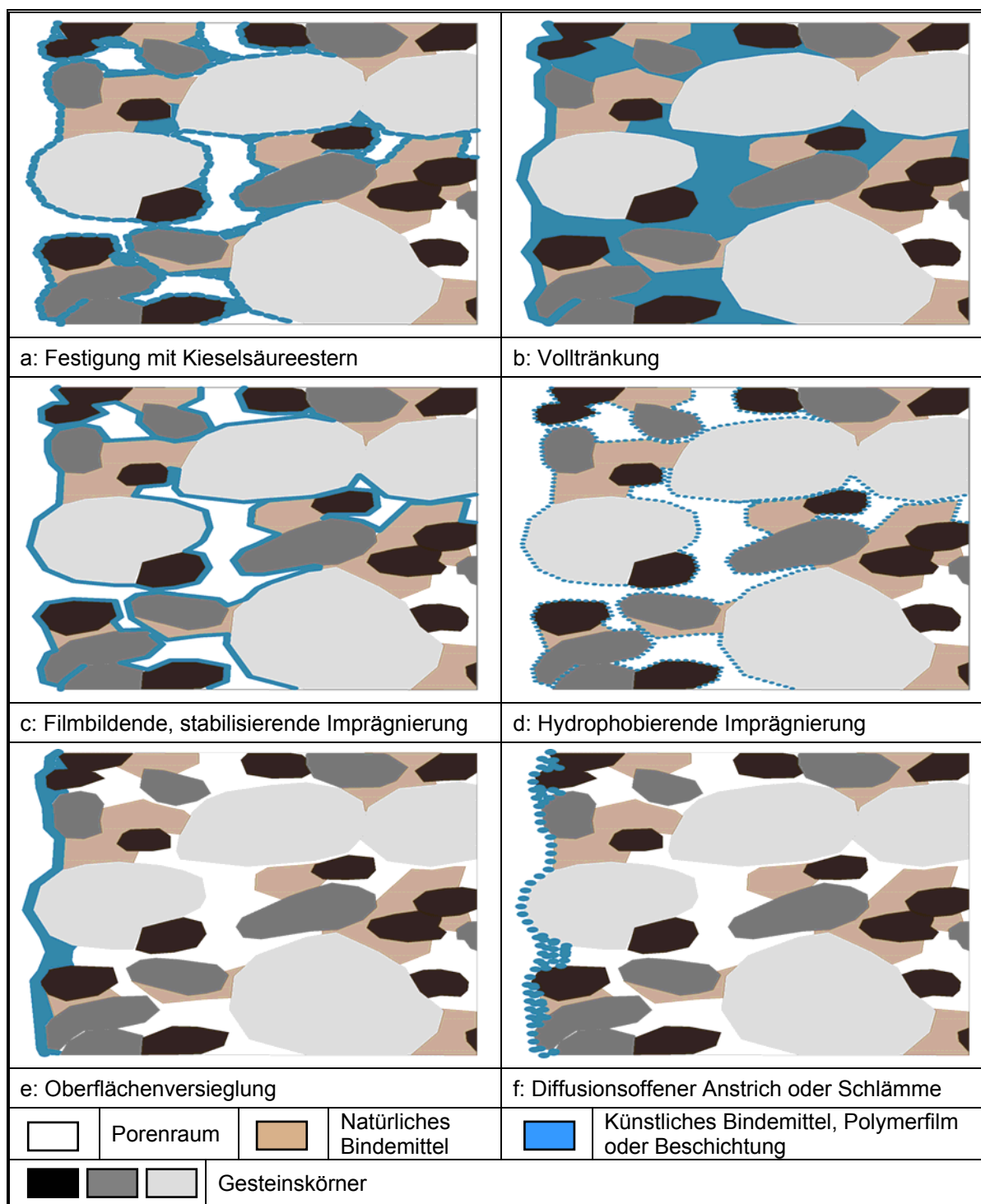


Abb. 5-1: Überblick über historische und aktuelle Produkte in der Steinkonservierung

Fast alle dieser Konservierungsmittel werden in den Porenraum des Steins eingebracht, das heißt, je nach Mittel, Applikationsmethode und Aufnahmevermögen des Steins wird eine mehr oder weniger dicke Steinschicht vom Konservierungsmittel durchdrungen.

Für Natursteine werden aber auch Schutzsysteme verwendet, die nicht in den Stein eindringen, sondern als Beschichtung auf der Oberfläche aufliegen. Dazu gehören die Anstriche, Schlämmen und Putze (Tafel 5-1).



Tafel 5-1: Prinzipskizzen der Wirkungsweise von verschiedenen Steinkonservierungsmitteln und Beschichtungen

5.1.1 Steinfestigung

Bei der Steinfestigung soll das eingesetzte Konservierungsmittel den Verlust an Festigkeit möglichst bis zum Wert des unverwitterten Gesteins ausgleichen. Das Ziel ist die Herstellung eines von innen nach außen homogen verlaufenden Festigkeitsverlaufs. Die Wirkungstiefe soll bis zum unverwitterten Gestein reichen. Dies ist in Anbetracht der Inhomogenität von Natursteinen nur bedingt möglich und macht deutlich, dass für jeden Stein ein eigenes, an die konkrete Situation angepasstes Festigungskonzept entwickelt werden muss.

Bei der Steinfestigung wurden zwei Wege beschritten: Zum einen die Festigung durch den Einbau von künstlichem Bindemittel in den Porenraum (z.B. durch Wasserglas, Kalkwasser oder Kieselsäureester) und zum anderen eine Konsolidierung durch Überbrückung bzw. Verklebung der Gesteinskomponenten durch filmbildende Imprägnierungen (z.B. Epoxid-, Acryl- oder Polyurethanharze). Die prinzipielle Darstellung dieser Wirkungsweisen kann *Tafel 5-1 (Bilder a und c)* entnommen werden.

Festigung durch Kieselsäureester:

Die Steinfestigung durch **Kieselsäureester (KSE)** ist die am weitesten verbreitete Methode der Festigung von Sandsteinen (SATTLER & SNETHLAGE 1995).

Kieselsäureester werden in der Steinkonservierung dazu verwendet, den durch Verwitterung entstandenen Verlust an Kornbindung auszugleichen, indem verloren gegangenes Bindemittel ersetzt wird. Sie bilden durch Hydrolyse amorphes Siliziumdioxid (SiO_2), das dem Porensystem zugeführt wird. Durch Ablagerung von SiO_2 -Gel in den Kontaktzonen und Zwickelfüllungen werden Festigkeitssteigerungen erreicht, die in erster Linie auf mechanische Verzahnungseffekte in Form von konvex-konkav-Kontakten zwischen den Gesteinskörnern und dem zwickelfüllenden, plattigen SiO_2 -Gel zurückzuführen sind.

Kieselsäureester Si(OR)_4 sind Ester der Kieselsäure (besonders der Orthokieselsäure H_4SiO_4) mit Alkoholen (R). Diese Verbindungen entstehen durch Reaktion von Siliziumhalogeniden (z.B. Siliziumchlorid) mit Alkoholen wie Methanol, Ethanol oder anderen.

Das Abbinden eines Kieselsäureesters läuft in einem Sol-Gel-Prozess in zwei Schritten ab: Im ersten Schritt findet eine Hydrolyse statt (Formel 1), der zweite Schritt führt über Kondensations- und Polymerisationsprozesse zur endgültigen Gelbildung (Formel 2).

Bei der Hydrolyse in Gegenwart von Wasser wird Ethanol abgespalten (dieses verdampft in die Atmosphäre) und es entsteht instabile Orthokieselsäure, aus der sich durch Wasserabspaltung amorphes, wasserhaltiges SiO_2 -Gel bildet. Die chemische Reaktion verläuft nach der Summenformel:



Die Hydrolyse muss in der Praxis durch Zugabe von Katalysatoren beschleunigt werden. Neben der früher gebräuchlichen sauren und alkalischen Katalyse, bei der dem KSE unmittelbar vor der Verwendung Säure oder Base zugegeben werden musste, wird heute in aller Regel mit metallorganischen Verbindungen (Dibutylzinndilaurat) katalysiert, da diese die Hydrolyse langsamer katalysieren und somit höhere Eindringtiefen erreicht werden können.

Während der weiteren Gelbildung kommt es durch Kondensationsvorgänge der SiOH-HOSi- Strukturen zur Ausbildung ungeordneter SiO_2 -Tetraeder-Netzwerken unter H_2O -Abspaltung.



Durch ständig weiterlaufende Kondensation der freien OH-Gruppen im Kieselgel kommt es unter Wasserabspaltung zu Volumenkontraktionen und Spannungen. Wenn dabei die Kohäsionskräfte im Gel überschritten werden, kommt es zur Ausbildung eines polygonalen charakteristischen Rissystems. Durch die Entwicklung dieses Rissystems kommt es im Porensystem der behandelten Steine zur Ausbildung einer Sekundärporosität, die Auswirkungen auf das hygrische Verhalten des Gesteins haben kann.

Durch die während der Gelbildung nicht ausreagierten, hydrophob wirkenden Ethylgruppen, zeigen mit KSE behandelte Steinoberflächen eine anfängliche Hydrophobie. Die Hydrolyse des KSE wird durch das an den Mineraloberflächen liegende Haftwasser initiiert. Eine gewisse Sorptionsfeuchte, allerdings ohne Kapillarkondensation, ist daher unerlässlich für eine erfolgreiche Festigung.

Die im Handel befindlichen Kieselsäureester verschiedener Hersteller unterscheiden sich im Feststoffgehalt bzw. der Gelabscheidungsrate, dem Gehalt an Lösemitteln und in möglichen Zusätzen (HILBERT ET AL. 2004). Die Methylverbindungen, die zwar reaktionsfähiger sind und noch mehr Bindemittel abscheiden können, werden aufgrund ihrer toxikologischen Nebenwirkungen nicht mehr verwendet.

Ende der 1990er Jahre wurden **flexibilisierte Kieselsäureester** entwickelt, um dem spröden Charakter der konventionellen Festiger zu begegnen und um die Gelplattengröße so zu verändern, dass eine Überbrückung weiterer Porenräume möglich ist (BOOS 1999, WOLKE 1999, ZEINE & GROBE 1998). Die Flexibilität wird durch Integration von Weichsegmenten in die rigide Struktur des Kieselgels erreicht. Derartige Gele bilden im Laufe des Alterungsprozesses nahezu keine Schrumpfungsrisse aus. Das primäre Ziel dieser Modifizierung ist ein moderater Anstieg des E-Moduls in den gefestigten Zonen, um die Gefahr der Schalenbildung zu reduzieren. Die entsprechenden Gele können je nach Wahl des Weichsegments hydrophob (Dimethyl-Siloxan-Weichsegment) oder nicht-hydrophob (Polyether-Weichsegment) sein.

Filmbildende Festigungsmittel:

Im Gegensatz zur KSE-Festigung, bei der neues Bindemittel in die Poren eingebaut wird, erfolgt bei den filmbildenden Festigungsmitteln die Ausbildung einer stabilisierenden und schützenden, polymeren Mikroschicht auf den Porenwandungen des Gesteins.

Die Steinschutzstoffe dringen in flüssiger Form durch kapillares Saugen in das Gestein ein. Nach Abdampfen des Lösemittels und Aushärtung bildet sich eine filmbildende elastische polymere Mikroschicht auf den inneren Porenwandungen des Gesteins aus. Der Polymerfilm schützt wie ein Korsett die gelockerte Bindemittelmatrix in der verwitterten Zone. Außerdem werden die Möglichkeiten der chemischen Reaktion mit Schadstoffen und Feuchtigkeit verringert. Da der Porenraum offen bleibt, ist die Wasserdampfdurchlässigkeit des getränkten Bereichs nur geringfügig verringert. Die Quell- und Schwindprozesse werden drastisch reduziert.

Im Idealfall läuft der Polymerfilm zum ungetränkten Bereich in einer Übergangszone ohne steilen Gradienten sanft aus, so dass Sprünge im Eigenschaftsprofil vermieden werden.

Umfangreiche Untersuchungen zu filmbildenden Steinschutzstoffen wurden im Rahmen des sog. „Aachener Konzeptes“ vorgenommen (HONSINGER 1991, LITTMANN ET AL. 1998), das in erster Linie für Steine entwickelt wurde, die anfällig gegenüber Quell- und Schwindprozessen sind oder deren Gesteinskomponenten stark mit eingetragenen Schadstoffen reagieren können.

Bei den bisher für geeignet befundenen Systemen für die Natursteinkonsolidierung handelt es sich um Schutzstoffe auf der Basis von:

- Polyurethanen (VIOL 1998)
- Epoxidharzen (HESSLAND 1991, HOFFMANN & HÖCKER 1998, HOFFMANN 1999)
- Silanen und Siloxanen (ZEINE & GROBE 1998)
- Modifizierten Acrylaten (SCHNEIDER ET AL. 1994).

Bestandteil des Aachener Konzeptes ist die Entwicklung und Anpassung von Steinschutzstoffen für einen ganz speziellen Anwendungsfall. Es wird ein Konzept erarbeitet, das die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der einzelnen Polymere berücksichtigt und ganz konkrete Optimierungen vornimmt, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. Dieser Entwicklungs- und Optimierungsaufwand begründet die im Vergleich zu den Kieselsäureestern eher eingeschränkte Verbreitung der filmbildenden Festigungsmittel in der Steinrestaurierung. Hinzu kommen besondere Aufwendungen hinsichtlich des Umgangs mit den teils toxischen Lösemitteln.

Konsolidierung durch Volltränkungsverfahren:

Die Volltränkung ist eine besondere Form der Steinkonservierung, bei der alle Poren bis in den Kern der Steine vollständig gefüllt oder durch eine filmbildende Imprägnierung ausgekleidet werden (*Tafel 5-1, Bild b*).

Volltränkungsverfahren werden an sehr stark geschädigten Objekten eingesetzt, um den Ist-Zustand zu sichern und den endgültigen Verfall aufzuhalten. Sie können nur innerhalb einer aufwendigen, immobilen Anlage durchgeführt werden. Das bedeutet, dass die Objekte abbau- und transportfähig sein müssen, wie z.B. Epitaphe, Bildstöcke, Figuren und Balustraden.

Die bekannteste Variante der Vollkonservierung ist seit mehr als 30 Jahren die **Acrylharzvolltränkung (AVT)**. In großen Autoklaven wird mit Unterstützung von Vakuum und Druck monomeres Methylmetacrylat (MMA) in das zuvor vollständig ausgetrocknete Porensystem eingebracht. Nach vollständiger Durchdringung wird das MMA durch Wärmezufuhr polymerisiert, so dass in dem Porensystem Polymethylmethacrylat (PMMA) in Form von Acrylglas (Plexiglas) entsteht. Durch Haftvermittler wird ein guter Kontakt mit der Porenwandung erreicht, so dass über den gesamten Querschnitt des Gesteins ein vollständiger Porenverschluss und eine hohe, gleichmäßige Festigkeit erzielt wird.

Problematischen Übergänge von der gefestigten zur ungefestigten Zone werden vermieden, so dass eine Schalenbildung ausgeschlossen ist, vorausgesetzt, es liegen keine Rissbildungen oder Klüfte im Gestein vor. Das Gestein nimmt nach der Konservierung kein Wasser mehr auf, so dass bei Teilen, die wieder in einen Mauerwerksverbund integriert werden müssen (z.B. Wasserspeier), besondere Einbaumaßnahmen zu berücksichtigen sind. Nach anfänglich aufgetretenen Problemen, die u. a. auf nicht ausreichende, vorherige Trocknung zurückzuführen waren, hat sich das Verfahren inzwischen für zahlreiche Gesteinsarten bewährt. Das Verfahren wurde aufgrund des starken Eingriffs in die Gesteinsubstanz in der Anfangsphase ausschließlich als Ultima Ratio bei anders nicht mehr zu rettenden Objekten eingesetzt. Diese Einschränkung ist inzwischen weitgehend aufgehoben, inzwischen wurde die Acrylharzvolltränkung an mehr als 25.000 Einzelobjekten erfolgreich durchgeführt (IBACH & IBACH 2005). Geringfeste Natursteine mit hohem Porenvolumen sind aufgrund einer hohen Wahrscheinlichkeit von Folgeschäden in Form von Rissbildungen für eine Acrylharzvolltränkung nicht geeignet.

Ergänzend dazu wird seit 2006 ein Verfahren auf Basis einer **Kieselgelvolltränkung (KVT)** entwickelt. Dabei handelt es sich ebenfalls um ein Vakuum-Druck-Verfahren, das als Tränkungsmittel eine Kombination aus sog. funktionellen Silanen (Ormosile) verwendet. Das Reaktionsprodukt ist ein Kieselgel, das weitgehend aus SiO_2 besteht, jedoch organische Restanteile enthält, die eine gewisse Elastizität und Klebewirkung herbeiführen. Ziel ist es, einen bis in den Kern reichenden, sehr dünnen, gut haftenden Film auf den Porenwänden auszubilden. Dadurch wird eine stabilisierende, offenporige Konservierung erreicht, die den im „Aachener Modell“ angestrebten Kriterien sehr nahe kommt (IBACH & SOBOTT 2007). Gegenwärtig erfolgt eine Überprüfung der Wirksamkeit des neuen Verfahrens, um Erfahrungen mit unterschiedlichen Gesteinsarten und Schadbildern zu sammeln.

5.1.2 Hydrophobierung

Einen Baustoff zu hydrophobieren, bedeutet ihn wasserabweisend zu machen, oder zumindest seine Wasseraufnahme zu reduzieren. Der hydrophobierende Wirkstoff belegt die inneren Poren- und Kapillaroberflächen und macht sie dadurch wasserabweisend. Die Poren und Kapillaren werden dabei aber nicht verschlossen, das heißt, die Diffusionsfähigkeit des Baustoffes bleibt so gut wie unverändert erhalten (*siehe Tafel 5-1, Bild d*).

Nahezu alle in der Steinkonservierung verwendeten Hydrophobierungsmittel bilden als Endprodukt einen Siliconharzfilm (Polysiloxanfilm) aus. Sie brauchen für die Reaktion Feuchtigkeit, die aber auf jedem Baustoff in ausreichender Menge vorhanden ist.

Die Siliconharzmoleküle werden chemisch fest auf der Baustoffoberfläche gebunden. Ihre wasserabstoßenden Molekülteile (die Kohlenwasserstoffketten) ragen in den freien Porenraum hinein.

Die allermeisten am Markt befindlichen Hydrophobierungsmittel bestehen aus einem Gemisch mehrerer der nachfolgend genannten Wirkstoffe und diverser Hilfsstoffe:

- Alkoxysilane (vereinfacht oft "Silane" genannt)
- Alkoxysiloxane (oft einfach nur "Siloxane" genannt)
- Siliconharze (Alkylpolysiloxane)
- Alkalisiliconate.

Unabhängig davon, welchen Typ Hydrophobierungsmittel man verwendet, entsteht bei allen als Endprodukt ein Siliconharz.

Zu den Hilfsstoffen zählen neben dem Lösungsmittel (Isoparaffine und Alkohole) auch Emulgatoren, Konservierungsmittel und Katalysatoren.

Hydrophobierungsmaßnahmen an Natursteinen werden zunehmend kritisch bewertet (SATTLER & WENDLER 2005). Die Hydrophobierung wirkt nicht nur von außen nach innen, sondern auch von innen nach außen. Das bedeutet, dass das im Stein befindliche Wasser den Stein durch diese Schicht nur über die Dampfphase verlassen kann. Hinter der hydrophoben Schicht kann es somit zu einem Wasserstau und bei salzbelasteten Steinen zu einer Salzkonzentration kommen. Bei Nachlassen der hydrophoben Wirkung in den oberflächennahen Bereichen oder in Störungszonen (z.B. an Rissen und Fugen) kommt es zu unterschiedlichen Belastungen hinsichtlich hygrischer und thermischer Dehnung sowie Beanspruchung durch Frost, Salzkristallisation etc. Die Folge sind Schalenbildungen, Absandungen, unterschiedliche Verschmutzungen und Besiedlungsprobleme mit Mikroorganismen.

Es gibt daher unterschiedliche Ansichten, ob wasserabweisende Schutzmittel, die an der Grenze zwischen behandelter und unbehandelter Zone die Verdunstung von Wasser provozieren und in der geschädigten Gesteinschicht liegen, eine Beschleunigung der Verwitterung bewirken oder nicht. In der Literatur besteht in gewissen Grenzen Uneinigkeit darüber, ob wasserabweisende Behandlungen eher an den nahen Oberflächenbereich der Werksteine gebunden sein (z.B. über Anstriche und Schlämmen) oder besser tiefer in den Baustein eindringen sollten (DE WITTE & BOS 1992, ŠRÁMEK 1993).

Bei Steinen mit hohem hygrischen Quellmaß (z.B. tonig gebundene Sandsteine) zeigten Untersuchungen (MÖLLER ET AL. 1992), dass dieses durch die Behandlung nicht reduziert, sondern unter Umständen sogar noch verstärkt werden kann. Der Schadensmechanismus kommt dort überwiegend bei höheren Luftfeuchtigkeiten zum Tragen, bei denen eine Hydrophobierung völlig wirkungslos ist.

Dies macht deutlich, dass Hydrophobierungsmaßnahmen sehr umfangreiche Voruntersuchungen hinsichtlich der Eignung des Gesteins und des individuellen Einsatzortes erfordern, um Schäden auszuschließen.

5.1.3 Anstriche und Schlämmen

Bis zum 19. Jh. waren die meisten Gebäude und Skulpturen im Freien farbig gefasst. Farbe auf Stein dient als Gestaltungselement und Schutz vor der Witterung. Die Schutzfunktion wird am ehesten erreicht, wenn das Farbsystem wasserabweisend ausgerüstet ist. Anstriche und Schlämmen liegen auf der Steinoberfläche und dringen in der Regel nicht in das Porengefüge ein. Eine Ausnahme sind die reinen Silikatfarben, die mit dem Untergrund verkieseln.

Historische Farbsysteme waren überwiegend Kalk-Kasein-Farben, Emulsionsfarben oder Ölfarben, im 20. Jh. auch die reinen Silikatfarben, die allerdings nicht wasserabweisend sind.

Gegenwärtig stehen zwei grundverschiedene Farbsysteme zur Verfügung:

- **Filmbildende Farbsysteme:** sie versiegeln die Oberfläche, verhindern das Eindringen von Wasser, aber auch den Transport von Wasserdampf (z.B. Ölfarben, Kunststoffdispersionsfarben)
- **Nicht filmbildende Farbsysteme:** sie reduzieren die Wasseraufnahme, behindern den Wasserdampftransport aber nur wenig, so dass eingedrungene Feuchtigkeit wieder entweichen kann (z.B. Dispersionssilikatfarben, Siliconharzemulsionsfarben)

Die Übergänge zwischen Farbschicht und Schlämme sind fließend. Schlämmen können ebenso wie Anstriche als farbige Fassungen von Steinoberflächen eingesetzt werden. Wegen ihrer größeren Materialstärke erfüllen sie eine sehr gute Schutz und Verschleißfunktion. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit der Konsolidierung von Abschuppungen und der Homogenisierung von Unebenheiten (Reduzierung der Oberfläche). Als Schlämmmaterialien stehen unterschiedliche Systeme zur Verfügung:

- Kalk- und zementgebundene Schlämmen (BÖTTGER & KNÖFEL 1999)
- Kieselisolgebundene Schlämmen (KAISER 1999)
- Siliconharzgebundene Schlämmen (SOBOTT 2006)
- Acrylharzgebundene Schlämmen (HOPP & ZIER 2008)

Je nach Anforderung und Bedarf können auch die Schlämmen wasserabweisend ausgerüstet werden.

Beschichtungen hatten gerade für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine in der Vergangenheit neben der gestalterischen eine nicht zu unterschätzende Schutzfunktion!

So war das Quadermauerwerk der Hofarkaden des Schlosses Friedenstein in Gotha bis zum Ende des 19. Jahrhunderts mit einem Anstrich versehen (*Abbildung 5-2*). Erst nachdem dieser nicht mehr erneuert wurde, traten massive Schäden an den Lettenkeupersandsteinen auf (HOPP & ZIER 2008).



Abb. 5-2: Fassungsreste an Lettenkeupersandsteinen der Arkadenbögen des Schlosses Friedenstein in Gotha

5.1.4 Quellmindernde Schutzstoffe

Viele tonig gebundene Sandsteine reagieren bei Durchfeuchtung mit z.T. beträchtlicher Dehnung. Bereits durch Einlagerung von Wasser im Luftfeuchtebereich werden teilweise 25-40 % des Quellmaßes erreicht (HILBERT & WENDLER 1995).

Dadurch stellt sich im Mauerwerk eine Feuchteverteilung ein, die zu unterschiedlichen „Quellzuständen“ in verschiedenen Tiefenbereichen führt. Die zeitliche und örtliche Veränderung dieser Zustände führt zu gegenläufigen Prozessen in benachbarten Tiefenzonen des Gesteins. Die resultierende Scherspannung führt zum Schadbild der Schalenbildung (WENDLER & HILBERT 2006).

Bei Anwesenheit von Wasser bilden sich an den Schichtladungszentren der Tonminerale Hydrathüllen aus. Die Schichtpakete werden dadurch „ziehharmonikaartig“ auseinandergedrückt. Wird dieser Prozess auf das Gefüge übertragen, kommt es zur Ausdehnung des Materials.

Es ist möglich, die hygrischen Eigenschaften von Gesteinskomponenten durch geeignete grenzflächenaktive Stoffe (Tenside) zu verändern (SNETHLAGE ET AL. 1995).

Da alle Tone eine negative Oberflächenladung besitzen, sind zu deren Behandlung grundsätzlich kationische Tenside (z.B. bifunktionelle Alkylammoniumchloride) geeignet (WENDLER & SATTLER 1993).

Die an die Tonminerale fixierten Kationen sind in der Lage, Hydrathüllen anzulagern, die somit das Quellmaß des Materials bestimmen. Die Wirkung des Tensides beruht auf einem Blockieren der Quellzentren in den Tonmineralen. Es kommt zu einem Austausch der Kationen durch das Tensid und eine Kopplung der negativ geladenen Tetraederschichten.

Die ausgetauschten Kationen und die Chloridionen wandern in die Porenlösung ab. Dadurch wird die Bildung der Hydrathüllen weitestgehend unterbunden. Die Wirkung solcher bifunktionellen Ammoniumverbindungen ist in der *Abbildung 5-3* schematisch dargestellt.

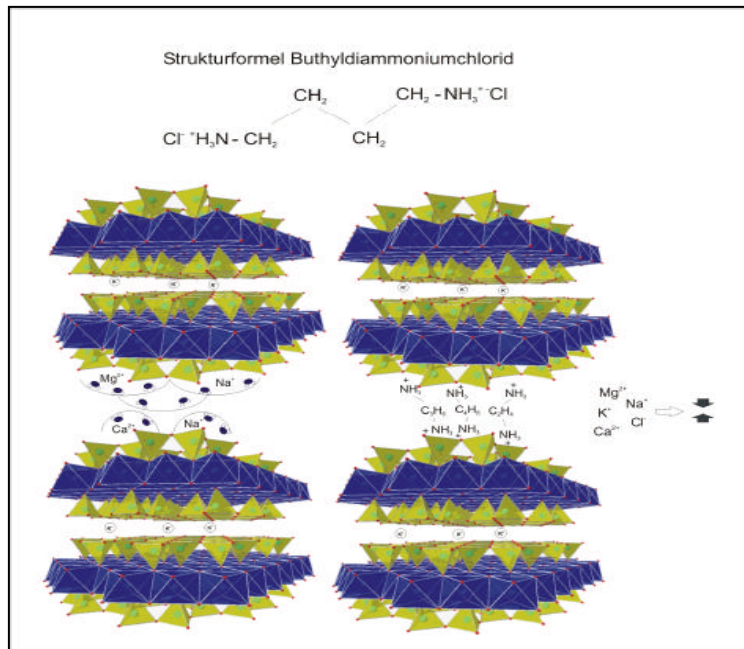


Abb. 5-3:
Funktionsweise des kationischen, bifunktionellen Tensides Butyldiammoniumchlorid in wässriger Lösung (KEßLER 2000).

Auf der linken Seite sind Dreischicht-Tonminerale mit K⁺-fixierten sowie einer quellfähigen Zwischenschicht dargestellt. Rechts sind die Kationen gegen das Butyldiammoniumchlorid ausgetauscht, wodurch es zu einer Kopplung der negativ geladenen Tetraederschichten kommt. Die ausgetauschten Kationen und die Chloridionen wandern in die Porenlösung ab.

Die Wirkungsweise der Tenside hat nur einen Effekt auf die hygrische Quellneigung des Gesteins. Die Wasseraufnahme, sowohl im Bereich der Luftfeuchte, als auch bei Unterwasserlagerung, wird nicht oder nur in sehr geringem Maße verändert (SNETHLAGE ET AL. 1995).

Die Wirksamkeit von Quellminderern wird anhand zahlreicher Untersuchungen bestätigt, jedoch sind auch Fälle bekannt, wo bei Anwendung im hygroskopischen Bereich die hygrische Dehnung nicht verhindert wurde (SNETHLAGE ET AL. 1995). Bei der Applikation von großen Wirkstoffmengen wurden hygroskopische Effekte und Salzausblühungen beobachtet (PATZELT 1996, KEMPKES 2005).

5.2 Vorbetrachtungen zur Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

5.2.1 Allgemeine Anforderungen an Konservierungsmaßnahmen

Steinkonservierungsmaßnahmen sollen im Allgemeinen folgende Kriterien erfüllen:

- Gute Anbindung zum mineralischen Untergrund
- Eindringtiefen in dem Maße, dass die Ausbildung einer Schicht mit vom unverwitterten Material stark abweichenden petrophysikalischen Eigenschaften vermieden wird
- Toleranz gegenüber den an der Fassade vorkommenden Temperaturen
- keine Blockade der Porosität des Gesteins bzw. keine signifikante Steigerung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes
- Die Porosität des Materials sollte nicht in dem Maße verändert werden, dass die Empfindlichkeit gegenüber Frost-Tauwechseln ansteigt.
- Das Schutzmittel sollte die physikalischen Eigenschaften des verwitterten Materials möglichst denen des unverwitterten Materials annähern.

Weitere Anforderungen ergeben sich daraus, ob es sich um eine festigende oder eine hydrophobierende Konservierungsmaßnahme handelt.

In der *Tabelle 5-1* werden wichtige Kriterien aufgeführt, die laut Leitfaden Steinkonservierung (SNETHLAGE 2008) eine erfolgreiche Steinfestigung charakterisieren.

Tab. 5-1: Qualitätsprüfungen für die Natursteinfestigung (nach SNETHLAGE 2008)

Symbol	Eigenschaft	Dimension	Anforderung ¹
-	Visuelle Eigenschaften	-	möglichst keine Farbänderung möglichst keine Dunklung kein Glanz
w	Wasseraufnahmekoeffizient	kg/m ² √h	$w_i \leq w_o$
B	Wassereindringkoeffizient	cm/√h	$B_i \leq B_o$
s	Eindringtiefe	cm	größer als Zone der maximalen mittleren Feuchte $w_o = 0,1 \dots 0,5$: s = 1,0 cm $w_o = 0,5 \dots 3,0$: s = 3,0 cm $w_o > 3,0$: s = 6,0 cm
α_{Hy}	Hygrische Längenänderung	µm/m	keine Zunahme gegenüber unbehandeltem Gestein
µ	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl	-	Zunahme ≤ 20 %
1) Index i: behandeltes Gestein, Index o: unbehandeltes Gestein			

Tab. 5-1 (Fortsetzung): Qualitätsprüfungen für die Natursteinfestigung

Symbol	Eigenschaft	Dimension	Anforderung ¹
β_{BZ}	Biegezugfestigkeit *	N/mm ²	$\beta_{BZ,i} = \beta_{BZ,o}$ ausgeglichenes Festigkeitsprofil, ansonsten: $(\beta_i - \beta_o) / \beta_o < 0,5$ und $\Delta\beta_i / \Delta x < 0,2 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{mm}$
E-Modul	Elastizitätsmodul *	N/mm ²	$E_i \leq 1,5 E_o$ und $E_i / \beta_i \leq E_o / \beta_o$ möglichst ausgeglichenes E-Modulprofil und $\Delta E / \Delta x \leq 1 \text{ kN/mm}^2 \cdot \text{mm}$
β_{HZ}	Haftzugfestigkeit *	N/mm ²	$\beta_{HZF,i} = \beta_{HZF,o}$ ausgeglichenes Festigkeitsprofil
v_p	Ultraschallgeschwindigkeit *	km/s	$V_{p,i} = v_{p,o}$ ausgeglichenes Profil
BWS	Bohrwiderstand *	mm/min	ausgeglichenes Bohrwiderstandsprofil
1) Index i: behandeltes Gestein, Index o: unbehandeltes Gestein * von den mit (*) bezeichneten Methoden ist mindestens eine zur Beurteilung der Festigungswirkung und eine E-Modul-Bestimmung auszuführen			

Mit dem Definieren dieser Anforderungen sollen keine starren Regeln für Konservierungsmaßnahmen erstellt werden. Vielmehr sollen Kriterien genannt werden, die nach dem Stand des jetzigen Wissens geeignet sind, den Erfolg einer Konservierung zu beurteilen und Fehlanwendungen zu vermeiden. Sie sollen gleichzeitig dazu dienen, sie den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit an späterer Stelle gegenüberzustellen und die Qualität der Konservierungsmaßnahmen zu beurteilen.

5.2.2 Darstellung der für die Konservierung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine relevanten Eigenschaften und Anforderungen an die Konservierungsmittel

Die für Konservierungsmaßnahmen relevanten Eigenschaften der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt:

Eigenschaften der Sandsteine, die eine Konservierung erschweren:

- geringer Anteil an unmittelbaren Kornbindungen, wodurch bereits relativ niedrige Ausgangsfestigkeiten vorliegen
- hohe und wechselhafte Porosität, die hohe aber auch wechselhafte Wasser- bzw. Konservierungsmittelaufnahme zur Folge hat
- verschiedenartige Inhomogenitäten im Gesteinsaufbau einiger Sandsteine, die die Aufnahme von Konservierungsmitteln behindern können
 - wechselnde Bindemittelbeteiligungen verschiedener mineralischer Art (tonig, tonig-ferritisch, ferritisch, karbonatisch)
 - schichtige und nicht-schichtige Anreicherung von Glimmern in verschiedenen Stadien der Umbildung
 - linsenförmige bis streifige Einlagerungen von Ton-Schluff-Aggregaten mit unterschiedlicher ferritischer, kohligter und glimmeriger Beteiligung
- Anfälligkeit gegenüber hygrischen und thermischen Längenänderungen und demzufolge häufige Ausbildung von Mikroklüften und Rissbildungen bei der Verwitterung

Eigenschaften der Sandsteine, die eine Konservierung begünstigen:

- relativ hohe Porosität, die es ermöglicht, dass eine große Menge an Konservierungsmittel aufgenommen werden kann
- hoher Anteil an Kapillarporen, wodurch das kapillare Saugen unterstützt wird

Resultierend aus diesen Eigenschaften ergeben sich folgende Anforderungen an die Konservierungs- insbesondere Festigungsmittel, die über die von SNETHLAGE (2008) formulierten Kriterien hinausgehen bzw. diese konkretisieren:

Anforderungen an Konservierungsmittel für thüringische Lettenkeuper- und Schilfsandsteine:

- Reduzierung der hygrischen Dehnung
- Eindringtiefen von ca. 4 cm (Überbrückung der geschädigten Zone)
- Überbrückung / Klebung von Haarrissen und Abblätterungen
- Überbrückung von Inhomogenitäten (Risse, tonige oder glimmerige Lagen)
- geringe Festigkeitssteigerungen, da Ausgangsfestigkeiten eher niedrig sind

5.3 Auswertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen

5.3.1 Allgemeiner Überblick

Konservierungsmaßnahmen an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen beziehen sich in erster Linie auf eine Behandlung der vorherrschenden Schadbilder: Absanden, Abblättern und Abschalen. Weiterhin beinhalten sie vorbeugende Maßnahmen, die künftige Schäden verhindern oder zumindest zeitlich verzögern sollen.

Tabelle 5-2 gibt einen wertungsfreien Überblick, welche Konservierungstechnologien für Lettenkeuper- und Schilfsandsteine üblicherweise in der restauratorischen Praxis angewendet werden.

Tab. 5-2: Konservierungstechnologien für Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

Konservierung von Schadbildern	
Schadbild	Maßnahmen
Absanden	Festigung
Abblättern / Abschuppen	Festigung Fixierung der Schuppen durch Schlämmen
Abschalen	Verkleben und Hinterfüllen der Schalen Andübeln von Schalen Anböschern der Schalenränder mit Restauriermörtel
Vorbeugende Maßnahmen	
Ziel	Maßnahmen
Schutz vor Bewitterung, Feuchtigkeit	Hydrophobierung Anstrich Schlämme
Reduzierung des hygrischen Quellens	Behandlung mit Quellminderern

Selbstverständlich gibt es weitere Konservierungstechnologien, wie Reinigung, Entsalzung, Steinergänzung etc., die jedoch in Abhängigkeit von der Schadens- und Belastungssituation mehr oder weniger für alle Natursteine zutreffen und daher in dieser Zusammenstellung nicht explizit aufgeführt werden.

Auch die Beseitigung bzw. Reduzierung der Schadensursachen gehört im weiteren Sinne zu den konservierenden Maßnahmen. Diese beinhalten insbesondere baulich-konstruktive Maßnahmen gegen Feuchtigkeit (z.B. Abdichtung gegen Feuchtigkeit, Ablechung von Gesimsen), denen bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen eine entscheidende Rolle zukommt. In geschlossenen Räumen kann darüber hinaus auch die Regulierung des Raumklimas (Vermeidung starker Luftfeuchtigkeitsschwankungen) zur Verzögerung der Schäden beitragen.

Bisherige Konservierungstechnologien in Franken, Württemberg und Niedersachsen:

In Franken, Württemberg und Niedersachsen wurden seit den 1970er Jahren als Festigungssysteme für tonig gebundene Keupersandsteine in erster Linie Kieselsäureester mit unterschiedlichen Wirkstoffgehalten und - seit ca. 1995 - Kieselsäureester mit elastifizierenden Komponenten verwendet.

Für die Anbindung lockerer Abschuppungen kamen sog. Kieselsole (Syton X30) meist in Verbindung mit einer Schlämme (Syton X30, Quarzmehl und Pigmente) zur Anwendung (SNETHLAGE, AURAS ET AL. 1995).

Auch Hinterfüllmassen und Anböschmörtel für Schalenbildungen wurden entwickelt, meist auf Basis von Kieselolen (ETTL & SCHUH 1993), später mit sog. KSE-Modulsystemen.

Größere Konservierungsprojekte, die durch umfangreiche Vor- und Nachuntersuchungen begleitet wurden, gab es am Kloster Birkenfeld (SNETHLAGE, AURAS ET AL. 1995) und dem Schloss Schillingsfürst in Franken (SNETHLAGE, LEISEN ET AL. 1995, MEINHARDT-DEGEN ET AL. 2003). Dabei wurden neben der Festigung auch weitere Konservierungstechnologien angewandt, wie: Hinterfüllung und Klebung von Schalen, Behandlung mit quellmindernden Schutzstoffen, Hydrophobierung, Schlämmen von Schuppenbildungen.

Umfangreiche Untersuchungen wurden am Sander Schilfsandstein vorgenommen, der sehr oft als Referenzmaterial für einen feinkörnigen, tonig gebundenen Sandstein im Rahmen von Versuchsserien zur Anwendung kam. Folgende Konservierungsmittel wurden an diesem Sandstein getestet:

- Hydrophobierung mit Alkytriethoxysilanen (WESSELS & GROBE 1995)
- Festigung mit Kieselsäureestern (SATTLER 1995)
- Festigung mit elastifizierten Kieselsäureestern (WOLKE 1999)
- Imprägnierung mit verschiedenen polymeren Schutzstoffen nach dem Aachener Konzept (HONSINGER 1991, SCHNEIDER 1993, VIOL ET AL. 1998, HOFFMANN 1999)
- Verringerung des hygrischen Quellens (HILBERT & WENDLER 1995)

Breit angelegte Bewertungen von Konservierungsmaßnahmen an Schilfsandsteinen, verbunden mit Aussagen zur Wiederbehandlung, erfolgten durch MEINHARDT-DEGEN (2005) und STADLBAUER & NIEMEYER (2007). Im Ergebnis dieser Arbeiten wurde deutlich, dass bei sorgfältiger Voruntersuchung und Applikation Konservierungsmaßnahmen erfolgreich sind, dass es aber auch Probleme gibt.

So ist es durch Festigungsmaßnahmen in vielen Fällen im oberflächennahen Porenraum zu Verdichtungen gekommen, so dass Folgeschäden entweder schon eingetreten oder noch zu befürchten sind. Teilweise wurde durch die Festigung der Porenraum der Steine so verändert, dass die hygrische Dehnung, die ein wesentlicher Schadensauslöser ist, größer wurde (ETTL & SCHUH 1992).

In Hinblick auf die Hydrophobierung gab es in Abhängigkeit von den Projekten unterschiedliche Erkenntnisse. Während z.B. eine Wiederholung der Hydrophobierung von Werksteinen des Schlosses Schillingsfürst aufgrund der Untersuchungen von MEINHARDT-DEGEN (2005) sinnvoll erschien, wurde im Fall der Kirche von Groß-Düngen in Niedersachsen von einer erneuten Hydrophobierung abgeraten, da es zu massiven Problemen in Form von Hinterfeuchtungen kam (STADLBAUER & NIEMEYER 2007).

Bezüglich der Behandlung mit Quellminderern wurde am Beispiel des Meller Schilfsandsteins deren Wirksamkeit bestätigt, jedoch eine anschließende Entsalzung empfohlen (KEMPKE 2005).

Insgesamt geht die Tendenz bei der Konsolidierung von Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen dahin, auf eine tiefenwirksame Konservierung zu verzichten und stattdessen einen Oberflächenschutz zu applizieren (STADLBAUER & NIEMEYER 2007). Demzufolge werden in jüngster Zeit verstärkte Bemühungen unternommen, tonig gebundene Sandsteine durch speziell eingestellte, farblich angepasste Schlämmen zu schützen (SOBOTT 2006, ZIER 2006, PAETZKE 2007).

Bisherige Konservierungstechnologien in Thüringen:

In Thüringen wurden seit Ende der 1970er Jahre Festigungsmaßnahmen an plastischen Bildwerken aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen vorgenommen (LANG 1978). Dabei kamen vorwiegend filmbildende Schutzstoffe in Form von 5 bis 8 %igen Polymethylmethacryatlösungen und 8 bis 10 %igen Epoxidharzlösungen gelöst in Aceton und Toluol zum Einsatz.

Festigungsmaßnahmen an Fassadenbauteilen erfolgten in Thüringen erstmals Mitte der 1980er Jahre mit Kieselsäureestern, die Gelabscheidungsraten von ca. 30 % besaßen (STAEMMLER 1985). Seit 1990 wurden Kieselsäureester mit niedrigeren Gelabscheidungsraten verwendet, teilweise auch in Kombination mit 10 bis 30 %igen Epoxidharzlösungen (SCHEIDEMANN 1994, 1997, 2000; SCHIECKE 2000).

Bereits seit den frühen 1980er Jahren wurden in Thüringen Schalenbildungen mit Epoxidharzen (bis 50 % Harzanteil) verklebt und mit Mörteln auf Epoxid- bzw. Acrylatdispersionsbasis hinterfüllt und angebösch. Die Verwendung und Entwicklung dieser Materialien erfolgte zunächst empirisch (SCHEIDEMANN 1985, RÖHL 1990).

Ab Mitte der 1990er Jahre erfolgte die systematische Untersuchung und Entwicklung der Acrylatmörtel für Anböschungen und Hinterfüllmörtel (SEIFERT & ZIER 2001, ZIER 2006).

Parallel dazu wurden Anfang der 1990er Jahre Untersuchungen zur Entwicklung von Mörteln auf Basis eines wassergelösten Kieselsols, dem Quarzmehl bzw. gemörserter Originalsandstein zugegeben wurde, vorgenommen (ETTL & SCHUH 1992).

Die Konsolidierung von Abblätterungen erfolgte in Thüringen in der Regel durch aufbauende Festigung mit Epoxidharzlösungen bis 50 % Wirkstoffgehalt (SCHEIDEMANN 1985, RÖHL 1990, STAEMMLER & SCHEIDEMANN 1995).

Seit 2005 erfolgt die Entwicklung speziell angepasster Schlämmen auf Acrylatdispersionsbasis, die nach einer Reinigung und Vorfestigung auf die Oberfläche des Sandsteins aufgetragen werden und dadurch die Schuppenbildungen anbösch bzw. verkleben (ZIER 2006).

5.3.2 Nachkontrolle von Konservierungsmaßnahmen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen

Erste Untersuchungen zur Festigung von thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen erfolgten zu Beginn der 1990er Jahre (ETTL & SCHUH 1992, HOPP 1994). Dabei wurden Laborversuche mit Kieselsäureestern, Polyurethanen, Polymethylmethacrylaten, Epoxidharzen und Kieselolen vorgenommen.

Durch PATZELT (1996) wurde die Festigung mit Kieselsäureester und mit EP-Harz weiterentwickelt und Versuche mit unterschiedlichen Wirkstoffgehalten vorgenommen, die von LOS (2000) modifiziert wurden.

Untersuchungen zur Hydrophobierung wurden mit siliciumorganischen Hydrophobierungsmitteln durchgeführt.

Versuche mit Quellminderern wurden flankierend zu Festigungsmaßnahmen Mitte der 1990er Jahre vorgenommen (PATZELT 1996).

In der *Tabelle 5-3* erfolgt eine Auswertung der Laboruntersuchungen, wobei die Bewertungskriterien von SNETHLAGE (2008) zugrunde gelegt werden.

Weiterhin war es im Rahmen der vorliegenden Arbeit möglich, an einer Reihe von denkmalgeschützten Gebäuden und Bildhauerarbeiten, die in Thüringen in den letzten 20 Jahren konserviert wurden, Nachuntersuchungen zu den Konservierungsmaßnahmen an Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen vorzunehmen.

Dabei kamen überwiegend visuelle und akustische Prüfverfahren zur Anwendung, um die Objekte nicht zu schädigen. Wo es möglich war, wurde das Bohrhärteprofil mit Hilfe der Bohrwiderstandsmessung ermittelt.



Die ausführliche Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgt im **Anhang IV**. In der *Tabelle 5-4* werden die Ergebnisse kurz zusammengestellt.

Tab. 5-3: Bewertung früherer Laboruntersuchungen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen nach den Kriterien von Snethlage (2008)

Angaben zum Stein				Angaben zum Steinfestiger (teilweise in Kombination mit Quellminderer)			Veränderung der Eigenschaften im Vergleich zum unbehandelten Gestein [%]											Quelle
Herkunft	Stratigraphie	entspricht Probe:	Qualitätsgruppe	Produkt	Wirkstoffgehalt [%]	Gelabscheidung [%]	Eindringtiefe des Festigers [mm]	Optische Veränderungen	Wasseraufnahme unter Normaldruck	Kapillare Wasseraufnahme	Offene Porosität	Hygrische Dehnung	Wasserdampfdiff.- widerstand μ	Druckfestigkeit (senkrecht z. Sch.)	Biegezugfestigkeit (senkrecht z. Sch.)	E-Modul dyn./stat. (senkrecht z. Sch.)	Masseverlust nach 100 FTW	
				Wirkstoff: Kieselsäureester														
Grabfeld	kmS			Wacker OH, in Ethylmethylketon 1:2	25	10	Gute Angleichung der Festigkeit des verwitterten Steins an den unverwitterten.											ETTL & SCHUH (1992)
Erfurt	kuS	UKG	III	Funcosil® OH, unverdünnt	75	30	29	nein	-61	-82	-19	n.b.	+46	+148	n.b.	n.b.	n.b.	HOPP (1994)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® OH, unverdünnt	75	30	46	nein	-9	-31	-9	+4	+37	+36	+170	+171	-0,2	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Funcosil® OH, unverdünnt	75	30	24	nein	-5	-47	-7	-9	+31	+11	+30	+43	-0,1	PATZELT (1996)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® OH, in Testbenzin 1:1	37,5	15	55	nein	-2	-12	-5	-42	+16	+3	+67	+94	-0,2	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Funcosil® OH, in Testbenzin 1:1	37,5	15	25	nein	+7	-29	-5	+8	+15	+12	+15	+23	-0,1	PATZELT (1996)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® 300	99	30	85	nein	n.b.	-77	-16	+15	+2,6	+64	+230	+213	n.b.	LOS (2000)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® 100	20	10	70	nein	n.b.	-99	-5	-39	+13	+24	+80	+136	n.b.	LOS (2000)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® Antihygro + Funcosil OH	75	30	57	nein	-1	-33	-10	-35	+78	+26	+143	+143	-0,7	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Funcosil® Antihygro + Funcosil OH	75	30	24	nein	+3	-36	-7	-12	+73	+6	+72	+83	-0,5	PATZELT (1996)
				Wirkstoff: Epoxidharz														
Erfurt	kuS	UKG	III	Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (3:2)	10		30	ja	-3	-3	-3	n.b.	+31	+40	n.b.	n.b.	n.b.	HOPP (1994)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	10		87	ja	+10	-7	-4	-77	+32	+2	+98	+107	-0,1	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	10		32	ja	+7	-54	-5	-2	+17	+5	+19	+36	0	PATZELT (1996)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	5		89	nein	+10	-4	-1	-73	+14	+2	+37	+65	-4,4	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	5		81	nein	+9	-35	-0,5	-9	+22	+4	+8	+8	-4,8	PATZELT (1996)
Ingersleben	kuS	ING/I	II	Funcosil® Antihygro, Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	5		108	nein	+8	-3	-3	-90	+72	+6	+40	+89	-0,4	PATZELT (1996)
Hindfeld	kmS	HFN	I	Funcosil® Antihygro, Epilox T19-20 in Toluol:Aceton (2:1)	5		37	nein	+6	-31	-5	-15	+73	+2	0	+20	-0,5	PATZELT (1996)
				Wirkstoff: PMMA														
Erfurt	kuS	UKG	III	Paraloid B 72 in Toluol:Aceton (3:2)	5		2	ja	-77	-99 ³	-52 ³	n.b.	+30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	BERGMANN (1998)
Erfurt	kuS	UKG	III	Paraloid B 72 in Toluol:Aceton (3:1)	5		24	ja	-12	-94	-14	n.b.	+62	+52	+43	+91	n.b.	HOPP (1994)
				Wirkstoff: Polyurethanharz														
Erfurt	kuS	UKG	III	Raboseal N1	10		21	ja	-12	-54	-1	n.b.	+54	+45	+39	+85	n.b.	HOPP (1994)

Legende:

- 1 Salzausblühungen aus Quellminderer
- 2 Volltränkung
- 3 Verdichtung der oberen 5 bis 10 mm

-  Qualitätsanforderung erfüllt
-  Qualitätsanforderung nicht erfüllt

Tab. 5-4: Ergebnisse von Festigungsmaßnahmen an ausgewählten Denkmälern

Ort / Objekt / Jahr der Restaurierung	Verwendete Steinfestiger (Wirkstoffgehalt bzw. Gelabscheidungsrate)	Ergebnisse der Objektbewertung von 2005 bis 2008
Erfurt, Horngasse 3/4 1985	KSE (30 %)	<ul style="list-style-type: none"> Keine Glanzbildungen Feste Oberflächen, kein Abrieb Eindringtiefe bis ca. 25 mm Keine lineare Festigkeitserhöhung, Sprünge zwischen 15 und 25 mm
Erfurt, Krämerbrücke 19 Gewölbekeller 1995	KSE (15 %)	<ul style="list-style-type: none"> Abplatzen gefestigter Bereiche ca. 1 Jahr nach der Konservierung Ursache liegt vermutlich in der hohen Salzbelastung
Creuzburg Putto "Flötenspieler" 1990	Basisfestigung mit PMMA (5 %) Nachfestigung mit EP-Harz (10 bis 50 %)	<ul style="list-style-type: none"> Eindringtiefe des Festigers an patinierten Oberflächen nur 6 mm, sonst bis 30 mm Gefestigte Oberflächen meist intakt Abplatzen von Steinerzergänzungen, dort beginnende Absandungen
Veste Heldburg, Herrenker, Musterfläche 1992	Basisfestigung mit KSE (10 %) Aufbauende Festigung mit Kieselöl (10 %)	<ul style="list-style-type: none"> Probleme bei der Applikation Verfärbungen der Oberflächen (Vergrauung der Oberflächen) Braun- bis Schwarzfärbung bereits kurz nach der Applikation Nachlassender Festigungsgrad nach 3 Jahren
	Basisfestigung mit KSE (10 %) Nachfestigung mit EP-Harz (10 bis 50 %)	<ul style="list-style-type: none"> Applikation ist auch in Bereichen starker Schädigung durchführbar Es kommt zu einer Intensivierung des Farbtons aber nicht zu Verfärbungen
	Basisfestigung mit EP-Harz (10 %) Nachfestigung mit EP-Harz (10 bis 50 %)	<ul style="list-style-type: none"> Der Festigungserfolg ist auch nach 3 bzw. 15 Jahren Standzeit (an der Ausführungsfläche) noch gut
Erfurt, Turniergasse Gewölbekeller 1995	KSE (15 und 30 %)	<ul style="list-style-type: none"> Eindringtiefe bis ca. 27 mm Keine lineare Festigkeitserhöhung, Sprünge zwischen 17 und 22 mm Schimmelbildung auf den Oberflächen kurz nach der Applikation
	EP-Harz (5 und 10 %)	<ul style="list-style-type: none"> Eindringtiefe zunächst bis 30 mm, dann Rückwanderung auf 5 mm Festigkeitssprünge bei ca. 5 mm
Eisenach, Hauptbahnhof 1998	Basisfestigung mit KSE (15 %) Nachfestigung mit KSE (30 %)	<ul style="list-style-type: none"> Keine Glanzbildungen Feste Oberflächen, kein Abrieb Eindringtiefen bis ca. 32 mm Festigkeitsmaximum in 17 bis 24 mm Tiefe Keine Festigkeitssprünge

5.3.3 Zusammenfassende Bewertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen an den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen

Die bisher durchgeführten Laboruntersuchungen und Nachuntersuchungen von Konservierungsmaßnahmen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen lassen folgende Bewertung zu:

- Kiesel säureester sind für die Festigung der Sandsteine geeignet, vorausgesetzt, der Wirkstoffgehalt wird auf max. 20 % begrenzt. Die Eindringtiefe kann erhöht werden, wenn die Festigung mit lösemittelfreien Systemen erfolgt. So ist beispielsweise die Eindringtiefe des lösemittelfreien KSE 300 der Fa. Remmers größer als die des lösemittelhaltigen KSE 100, obwohl dieser eine geringere Gelabscheidungsrate besitzt.
- Die Festigung mit Kiesel solen, die für die Konsolidierung von Abschuppungen verwendet wurden, hat zu einer Überfestigung und zu einer starken Vergrauung bzw. nach längerer Standzeit zu einer Braunfärbung des Steins geführt.
- Bei der Konsolidierung mit Polyurethan (Raboseal N1, 10 %ig) wurden nur geringe Eindringtiefen erreicht, so dass es zu einer Überfestigung der oberen Gesteinsschichten kam.
- Die Behandlung mit Polymethylmethacrylat (Paraloid B 72, 5 %ig) führte zu einer starken Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme und der Wasserdampfdurchlässigkeit. Es konnte eine Verdichtung der oberflächennahen Bereiche festgestellt werden. Bei sorgfältiger Applikation kann die Konservierung dennoch positiv bewertet werden, da eine Fixierung von Abschuppungen erreicht wird.
- Die Festigung mit EP-Harz in Form einer aufbauenden Tränkung mit Wirkstoffgehalten von 10 bis 30 %, bei Abschuppungen bis 50 %, hat zu guten Ergebnissen geführt. Bei der Behandlung wurde festgestellt, dass ein tiefenabhängiges Konzentrationsgefälle von Harz und Lösemittel (Gradierungseffekt) auftritt, das im Idealfall für ein ausgeglichenes Festigkeitsprofil im geschädigten Stein sorgen kann, in der Realität jedoch nur schwer zu beeinflussen ist. Wirkstoffgehalte von 10 % stellten die untere Grenze für ein Verkleben der Körner dar. Positiv zu verzeichnen war, dass durch die Behandlung mit Epoxidharz die hygrische Dehnung reduziert wurde. Einschränkung muss genannt werden, dass die Applikation wegen der toxischen Lösungsmittel (Toluol) problematisch ist.
- Bei der Hydrophobierung mit siliciumorganischen Hydrophobierungsmitteln wurde festgestellt, dass durch die Hydrophobierung zwar die hygrische Dehnung im direkten Kontakt mit Wasser verringert wird, dass es aber im Luftfeuchtebereich zu einem Anstieg der hygrischen Dehnung kommt (ETTL & SCHUH 1992).
- Versuche mit Quellminderern ergaben, dass eine deutliche Reduzierung des hygrischen Quellens erreicht wird, dass es aber zu einer Erhöhung der hygroskopischen Wasseraufnahme und teilweise zu Salzausblühungen auf der Steinoberfläche kommt (PATZELT 1996).

5.4 Laborversuche zur Steinfestigung

5.4.1 Auswahl und Applikation der Festigungsmittel

Ausgehend von den Ergebnissen der bisherigen Laboruntersuchungen und Konservierungsmaßnahmen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen wurden für weiterführende Versuche nur die beiden aussichtsreich erscheinenden Festigungssysteme auf Kieselsäureester- bzw. Epoxidharz-Basis untersucht. Bei den Kieselsäureestern wurden die elastifizierten KSE mit einbezogen.

Untersuchungen zur Hydrophobierung und zur Reduzierung des hygrischen Quellens wurden aufgrund der ungünstigen Ausgangsprognosen nicht vorgenommen.

Folgende Festigungsmittel wurden für die Untersuchungen ausgewählt (Tabelle 5-5):

Tab. 5-5: Übersicht über die verwendeten Festigungsmittel

Produkt	REMMERS Funcosil® - Steinfestiger 100	REMMERS Funcosil® - Steinfestiger 300	REMMERS Funcosil® - Steinfestiger 300 E	LEUNA Epilox® T 19-32
Wirkstoff	KSE	KSE	KSE	EP-Harz
Lösemittel	Ethanol	keine	Ethanol	Toluol Aceton
Gelabscheidungsrate	100 g/l	300 g/l	300 g/l	-
Harzgehalt	-	-	-	nach Erfordernis
Kieselsäureestergehalt	20 %	99 %	>40 %	-
Komponenten	1	1	1	2 Harz und Härter
hydrophobierende oder elastifizierende Zutätze	keine	keine	elastifizierende Polyether- Weichsegmente	keine
Katalysator	neutral	neutral	neutral	keiner
Dichte bei 10°C	0,79 kg/l	1,0 kg/l	0,92 kg/l	Abhängig von der Verdünnung
Farbe	klar, leicht gelbstichig	klar, leicht gelbstichig	klar, leicht gelbstichig	klar
Nebenprodukt	Ethanol (entweicht)	-	Ethanol (entweicht)	Toluol Aceton (entweicht)

Die Technischen Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter können den Herstellerangaben im Internet entnommen werden (LEUNA 2006, REMMERS 2007).

Die Festigungsmittel wurden teilweise durch Verdünnen auf die in *Tabelle 5-6* dargestellten Wirkstoffgehalte gebracht:

Tab. 5-6: Übersicht der verwendeten Wirkstoffgehalte

Steinfestiger	Rezeptur	Wirkstoffgehalt	Abkürzung
KSE 100	Funcosil® 100 unverändert	20 % KSE-Gehalt 10 % Gelabscheidungsrate	KSE 100
KSE 300, 10 %	Funcosil® 300 verdünnt 1:3 mit Isopropanol	33 % KSE-Gehalt 10 % Gelabscheidungsrate	KSE 300 V
KSE 300	Funcosil® 300 unverändert	99 % KSE-Gehalt 30 % Gelabscheidungsrate	KSE 300
KSE 300 E	Funcosil® 100 E unverändert	40 % KSE-Gehalt 30 % Gelabscheidungsrate	KSE 300 E
EP-Harz, 10 %ig	Epilox® T19-32 verdünnt auf 10% Harzanteil	10 % Harzanteil	EP 10
EP-Harz, 20 %ig	Epilox® T19-32 verdünnt auf 20% Harzanteil	20 % Harzanteil	EP 20

Die Untersuchungen wurden an Gothaer Lettenkeupersandsteinen durchgeführt. Das Probematerial stammt aus Abbruchmaterial und entspricht der Probe THS sowie der Qualitätsgruppe II (vgl. Abschnitt 3).

Für die Laboruntersuchungen wurden je nach Anforderung verschiedene Prüfkörper (Würfel und Prismen) gesägt oder gebohrt (Kernbohrung). Im Schnitt wurden jeweils 3 Prüfkörper pro Messung verwendet. Für jede Messreihe wurde der arithmetische Mittelwert angegeben.

Die Probekörper wurden jeweils ca. zur Hälfte in das Festigungsmittel eingetaucht und mussten den Festiger aus eigener Kraft aufsaugen. Wenn die Probekörper sichtbar durchtränkt waren (zu erkennen an der Dunkelfärbung), erfolgte ein Auffüllen des Festigers, so dass die Proben ca. 1 cm überdeckt waren. Jetzt verblieben die Proben noch ca. 1 Stunde im Tränkbad, bis sie herausgenommen und bei 40 °C getrocknet wurden. Die Bedingungen bei der Festigung im Labor betrugen immer ca. 23 °C und 20 % r.F.

Anschließend wurden die Proben ein zweites Mal unter den gleichen Bedingungen getränkt und getrocknet.

5.4.2 Untersuchungsergebnisse

5.4.2.1 Untersuchungen zum Aufnahmeverhalten der Festigungsmittel

Untersuchungsmethode:

- in Anlehnung an DIN EN 1925
- 3 getrocknete Prismen (40x40x160 mm), seitlich nicht abgedichtet
- 3 mm tief senkrecht in den Festiger gestellt, in bestimmten Zeitabständen gewogen und Eindringtiefe (bzw. -höhe) der Festiger gemessen
- Aufnahme des Festigungsmittels senkrecht zur Schichtung

Ergebnisse der kapillaren Festigeraufnahme:

Die Ergebnisse der kapillaren Festigeraufnahme sind in der *Tabelle 5-7* und dem *Diagramm 5-1* dargestellt.

Tab. 5-7: Kapillare Festigeraufnahme in kg/m^2

Zeit [min]	1	3	5	10	15	30	60
Wurzel Zeit [$\text{h}^{0,5}$]	0,13	0,22	0,29	0,41	0,50	0,71	1,00
KSE 100	8,70	9,17	8,99	8,63	8,47	7,89	7,44
KSE 300 V	10,65	12,60	12,24	11,99	11,70	11,13	10,11
KSE 300	10,49	12,21	11,97	11,64	11,30	10,48	9,72
KSE 300 E	8,28	7,72	7,76	7,22	6,93	6,38	6,01
EP 10	12,61	13,53	13,35	12,72	12,58	11,89	11,51
EP 20	12,30	13,20	12,89	12,56	12,34	11,70	11,32

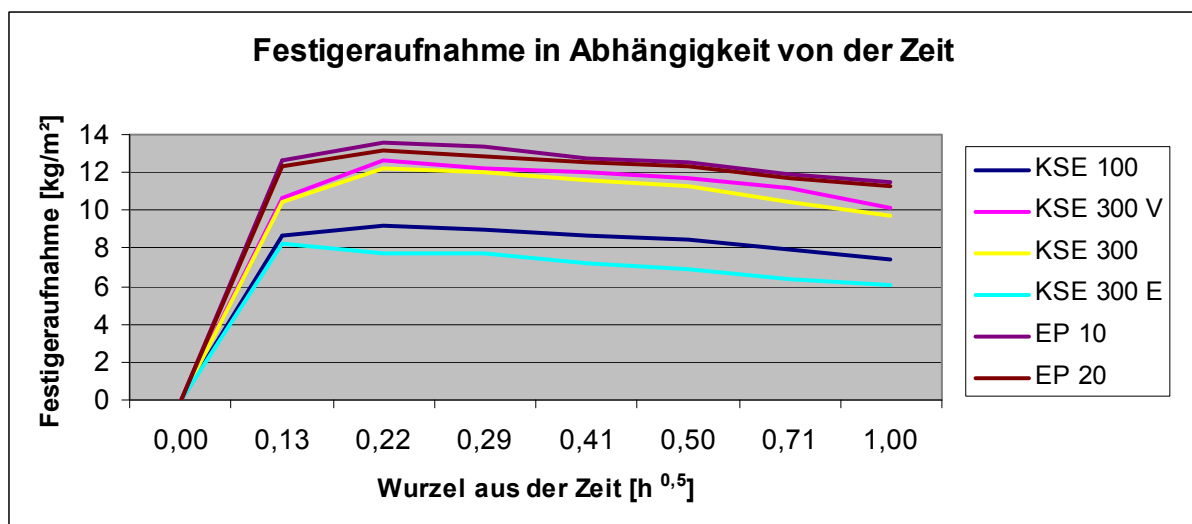


Diagramm 5-1: Kapillare Festigeraufnahme in Abhängigkeit von der Zeit

Eindringtiefe der Festiger:

Die erreichten Eindringtiefen der Festiger unmittelbar nach der Festigung und nach Verdunsten des Lösungsmittels sind in der *Tabelle 5-8* und im *Diagramm 5-2* dargestellt.

Tab. 5-8: Eindringtiefe der Festiger in mm

Probe \ Zeit	nach 5 min	nach 30 min	nach 60 min	nach 2 Tagen
KSE 100	19	40	53	50
KSE 300 V	20	41	53	50
KSE 300	22	42	55	55
KSE 300 E	18	36	49	48
EP 10	29	53	65	61
EP 20	28	50	62	56

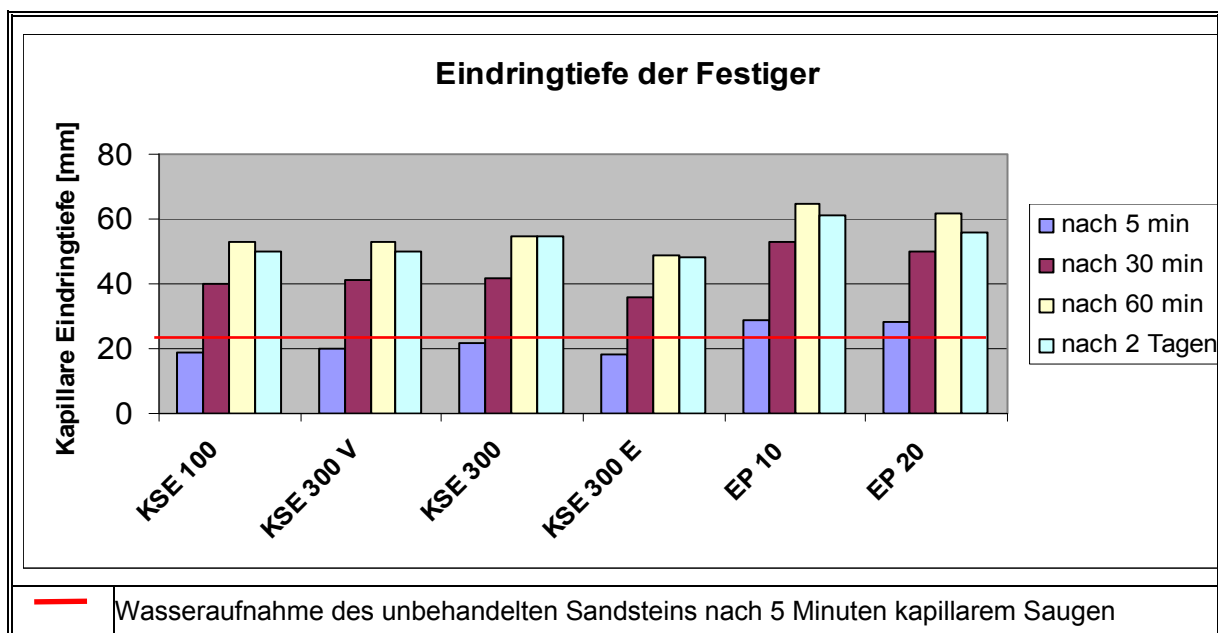


Diagramm 5-2: Kapillare Eindringtiefe der Festiger während der Festigung und nach 2 Tagen (nach Verdunsten des Lösungsmittels).

Die rote Linie markiert die Eindringtiefe die nach 5 Minuten kapillarem Saugen durch den Festiger mindestens erreicht werden muss (SNETHLAGE 2008)

Wertung der Ergebnisse:

Das Eindringverhalten der verwendeten Festiger macht deutlich, dass dieses in erster Linie von der Molekülgröße und nicht vom Wirkstoffgehalt abhängig ist.

Trotz niedrigerem Wirkstoffgehalt dringt der KSE 100 langsamer und weniger tief ein als der KSE 300. Dies ist damit zu erklären, dass der getestete KSE 100 durch Verdünnen eines höhermolekularen Festigers KSE 500 hergestellt wurde (HILBERT ET AL. 2004).

Der verdünnte KSE 300 V, der die gleiche Molekülgröße wie der KSE 300 und einen geringeren Wirkstoffgehalt besitzt, dringt zwar etwas schneller und zunächst etwas tiefer ein, zeigt jedoch nach Verdunsten des Lösemittelanteils eine geringere Eindringtiefe.

Im Fall des elastifizierten Kieselsäureesters KSE 300 E wurden zusätzlich Polyether-Weichsegmente zugesetzt, die wiederum höhere Molekülgrößen besitzen. Dies führt dazu, dass das Eindringverhalten schlechter als bei den reinen oder verdünnten Kieseestern ist.

Die Festiger auf EP-Harzbasis weisen unabhängig von ihrem Harzanteil in etwa das gleiche Eindringverhalten auf. Auch hier sind nach Verdunsten des Lösungsmittels geringere Eindringtiefen als unmittelbar nach der Festigung zu verzeichnen (Chromatographie-Effekt).

Bemerkenswert ist, dass sich sowohl die Festigeraufnahme, als auch die kapillare Wasseraufnahme nach ca. 3 Minuten verlangsamt. Die Ursache dafür könnte in der Präparation der Proben liegen, die seitlich nicht abgedichtet wurden. Der stagnierende Kurvenverlauf wäre damit durch die seitliche Verdunstung zu erklären.

Nach SNETHLAGE (2008) soll die Eindringtiefe des Festigers nach 5 Minuten kapillarem Saugen größer als die Zone der maximalen mittleren Durchfeuchtung sein. Eine Orientierung dazu bietet die kapillare Wasseraufnahme des unbehandelten Sandsteins, die nach 5 Minuten bei ca. 20 mm liegt. Nach diesem Kriterium wird eine ausreichende Eindringtiefe nur durch den lösemittelfreien, nicht elastifizierten Kieseester KSE 300 und durch die Epoxidharzfestiger erreicht. Für Sandsteine mit hohen hygrischen oder thermischen Längenänderungen sollte jedoch darüber hinaus der Festiger mindestens bis in Tiefen eindringen, in denen Änderungen der Außenbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) keine Längenänderungen im Stein mehr nach sich ziehen. Für ausgewählte thüringische Lettenkeupersandsteine wurde festgestellt, dass dieser Bereich ungefähr in einer Tiefe von 20 bis 30 mm erreicht ist (LOS 2000).



Für den in den Laborversuchen verwendeten Gothaer Lettenkeupersandstein lässt sich anhand der vorliegenden Schadbilder an frei bewitterten Objekten diese kritische Tiefe mit ca. 30 bis 40 mm angeben (*Abbildung 5-4*).

Diese Tiefe wird nach 5 Minuten kapillarem Saugen von keinem der beprobten Steinfestiger erreicht. Hier sind deutlich längere Applikationszeiten erforderlich.

Abb. 5-4:
Schnitt durch einen Bossen aus Gothaer Lettenkeupersandstein, mit einer Schalenbildung in ca. 35 mm Tiefe (Pfeil)

5.4.2.2 Visuelle Veränderungen

Untersuchungsmethode:

Die optischen Veränderungen der Steine nach zweimaliger Festigung wurden nach Verdunstung der Lösungsmittel visuell und fotografisch erfasst.

Untersuchungsergebnisse:

Durch die Festigung konnten bei keiner Probe Glanzbildungen oder Farbveränderungen festgestellt werden. Farbtonvertiefungen traten bei den mit Kieselestern gefestigten Proben in geringem Maße auf. Diese verschwanden allerdings nach mehreren Wochen Standzeit bei den unelastifizierten Kieselestern vollständig.

Größere Farbtonvertiefungen wurden nach der Behandlung mit elastifizierten Kieselestern und mit 20 %igen EP-Harzen festgestellt. Diese Veränderungen blieben auch nach längerer Standzeit bestehen.

Wertung der Ergebnisse:

Unabhängig von der Art des Festigers sind die visuellen Veränderungen nach längerer Standzeit so gering, dass sie kein Ausschlusskriterium für die Verwendung darstellen.

5.4.2.3 Dichte und Porosität

Untersuchungsmethode:

- Reindichte: mit Pyknometer nach DIN 52102 (Verfahren D), 3 Proben
- Rohdichte: nach DIN 52102 (Verfahren RE), 5 Würfel mit je 5 cm Kantenlänge
- Gesamtporosität: nach DIN 52102

Untersuchungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Dichte- und Porositätsuntersuchungen sind in der *Tabelle 5-9* und in den *Diagrammen 5-3 und 5-4* dargestellt.

Tab. 5-9: Dichten und Gesamtporosität der gefestigten Proben

Probe	Reindichte [g/cm ³]	Rohdichte [g/cm ³]	Dichtigkeitsgrad [-]	Gesamt- porosität [%]
unbehandelt	2,70	1,99	0,74	26,30
KSE 100	2,68	2,13	0,79	20,52
KSE 300 V	2,68	2,14	0,80	20,15
KSE 300	2,67	2,20	0,82	17,60
KSE 300 E	2,66	2,22	0,83	16,54
EP 10	2,68	2,25	0,84	16,04
EP 20	2,67	2,28	0,85	14,61

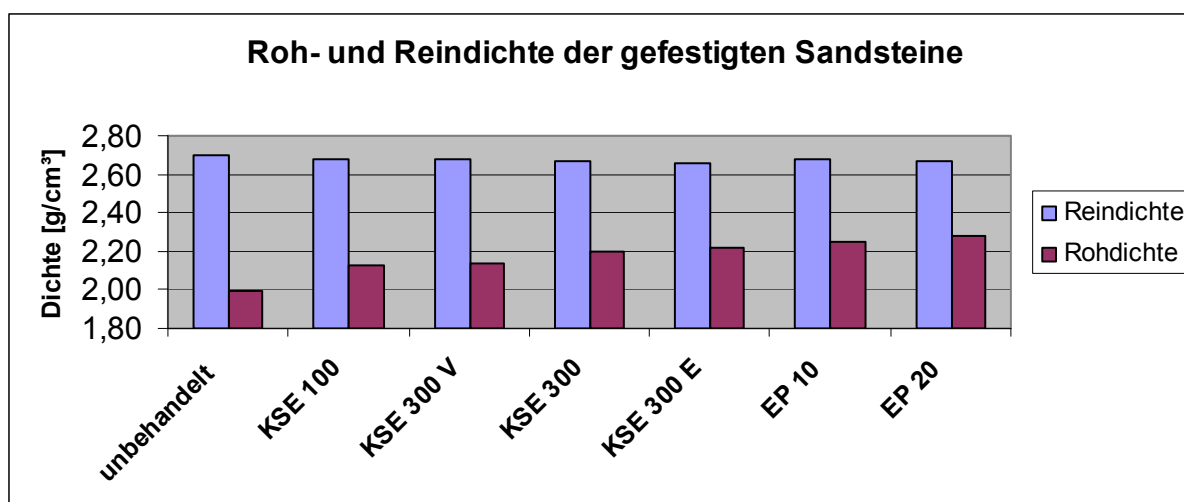


Diagramm 5-3: Roh- und Reindichte der gefestigten Sandsteine

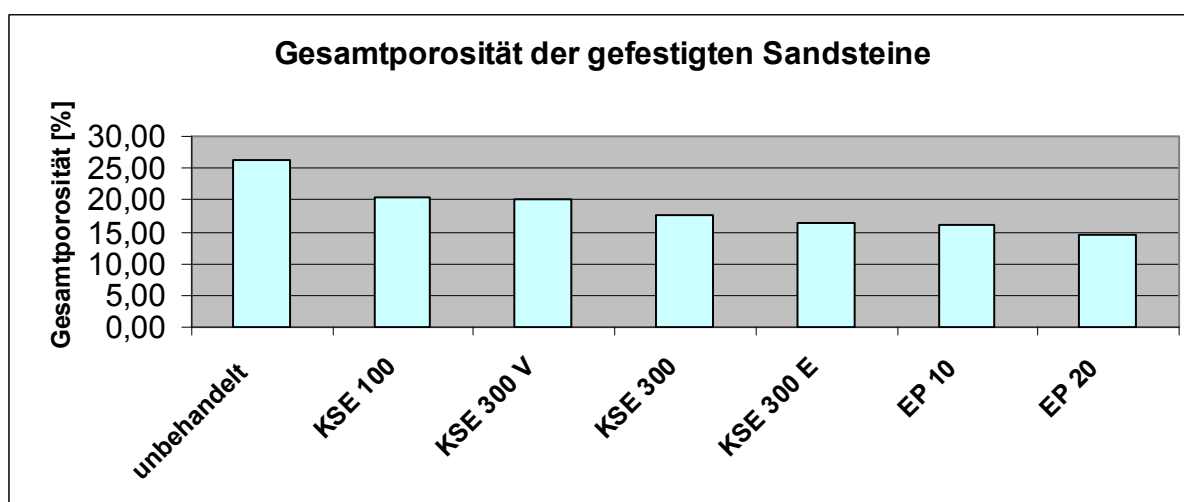


Diagramm 5-4: Gesamtporosität der gefestigten Sandsteine

Wertung der Ergebnisse:

Wie aus den Diagrammen hervorgeht, ändert sich die Reindichte der Sandsteine durch die Behandlung mit den verschiedenen Festigungsmitteln nicht wesentlich. Dagegen ändert sich die Rohdichte und damit auch die Gesamtporosität der Proben dahingehend, dass mit der Festigung eine Vergrößerung der Dichte und dementsprechend eine Verringerung der Porosität erfolgt. Bei der Festigung mit Kieselestern erfolgt die Reduzierung der Porosität in Abhängigkeit von der Gelabscheidungsrate. Die Behandlung mit KSE 100 und KSE 300 V, die jeweils ca. 10 % Gelabscheidungsrate besitzen, führt zu vergleichbaren Porositäten in den Sandsteinen. Bei den Kieselestern mit 30 % Gelabscheidungsrate bewirken die elastifizierenden Polyether-Weichsegmente im KSE 300 E eine weitere Reduzierung der Porosität. Die deutlichste Verringerung der Porosität erfolgte bei der Festigung mit Epoxidharz-lösungen, wobei eine Abhängigkeit vom Harzanteil festzustellen ist.

Die Veränderung der Porosität hat direkten Einfluss auf technische Eigenschaften, deren zulässige Änderungen durch SNETHLAGE (2008) anhand der in *Tabelle 5-1* genannten Kriterien definiert werden und auf die in den folgenden Untersuchungen jeweils eingegangen wird.

5.4.2.4 Wasseraufnahmevermögen der gefestigten Sandsteine

Untersuchungsmethode:

- nach DIN EN 1925
- 3 getrocknete Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm), seitlich nicht abgedichtet
- 3 mm tief senkrecht in Wasser gestellt, in bestimmten Zeitabständen gewogen und Eindringtiefe (bzw. -höhe) der Wassers gemessen
- Aufnahme des Wassers senkrecht zur Schichtung

Ergebnisse der kapillaren Wasseraufnahme:

Die Ergebnisse der kapillaren Wasseraufnahme der gefestigten Steine im Vergleich zum unbehandelten Sandstein sind in der *Tabelle 5-10* und im *Diagramm 5-5* dargestellt.

Tab. 5-10: Kapillare Wasseraufnahme der gefestigten Sandsteine in kg/m^2

Zeit [min]	1	3	5	10	15	30	60
Wurzel Zeit [$\text{h}^{0,5}$]	0,13	0,22	0,29	0,41	0,50	0,71	1,00
unbehandelt	13,81	13,64	13,38	12,76	12,53	12,08	11,81
KSE 100	12,94	10,90	10,12	9,44	9,21	9,08	8,73
KSE 300 V	12,00	10,50	10,00	9,05	9,12	9,00	8,65
KSE 300	6,63	5,50	4,91	4,90	4,71	4,48	4,17
KSE 300 E	3,72	3,26	3,61	4,44	4,75	5,33	5,96
EP 10	2,94	5,15	5,62	6,07	6,60	7,31	7,69
EP 20	2,1	4	4,85	5,35	6,1	6,45	6,95

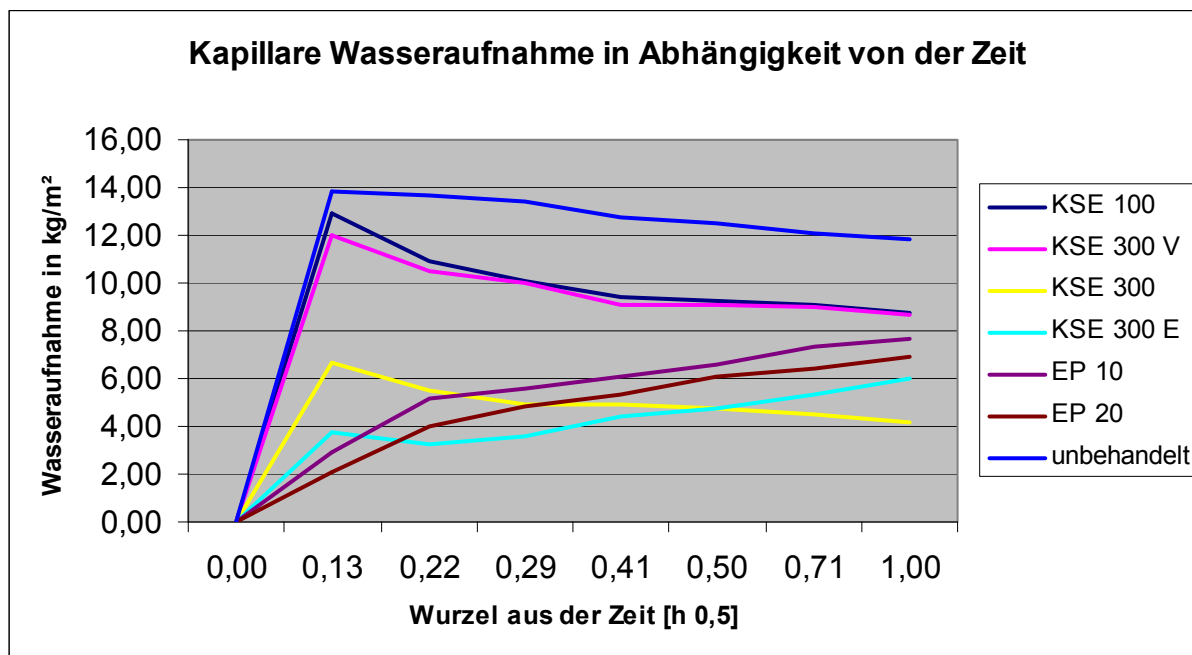


Diagramm 5-5: Kapillare Wasseraufnahme der gefestigten Sandsteine im Vergleich zum unbehandelten Sandstein in Abhängigkeit von der Zeit

Kapillare Eindringtiefe von Wasser:

An den gefestigten Sandsteinen wurde die kapillare Eindringtiefe von Wasser im Vergleich zum unbehandelten Stein ermittelt. Die Ergebnisse sind in der *Tabelle 5-11* und dem *Diagramm 5-6* dargestellt.

Tab. 5-11: Kapillare Eindringtiefe von Wasser in mm

Probe \ Zeit	nach 5 min	nach 30 min	nach 60 min
unbehandelt	21	45	63
KSE 100	23	49	66
KSE 300 V	24	50	67
KSE 300	21	35	47
KSE 300 E	10	19	32
EP 10	24	39	53
EP 20	17	30	45

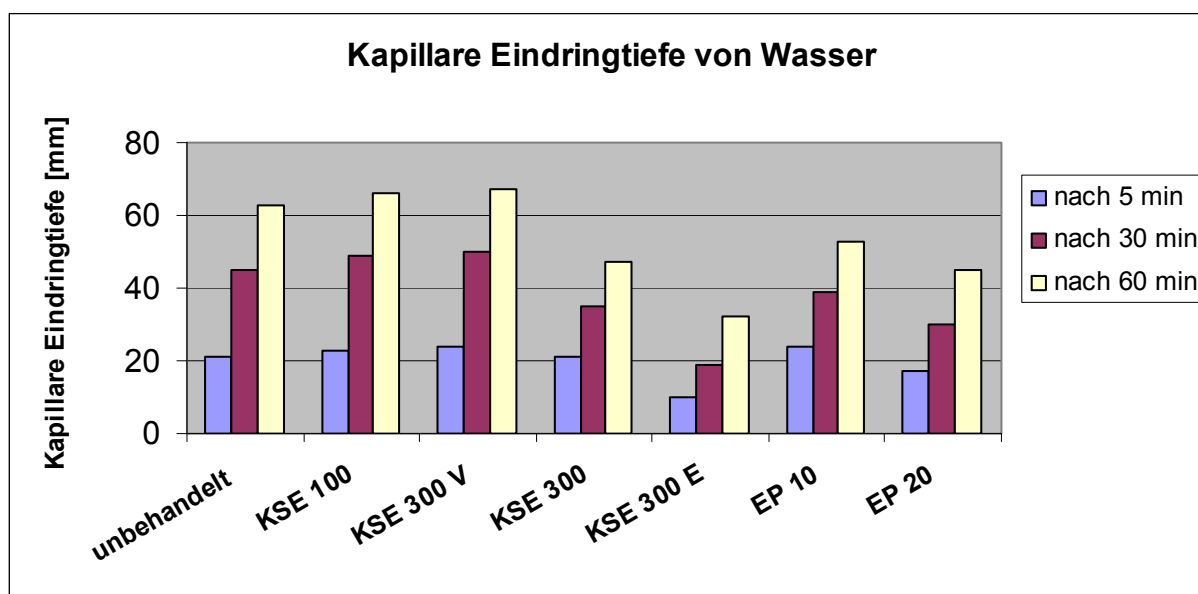


Diagramm 5-6: Kapillare Eindringtiefe von Wasser an den gefestigten Sandsteinen im Vergleich zum unbehandelten Sandstein in Abhängigkeit von der Zeit

Wertung der Ergebnisse:

Steinfestiger sollen in erster Linie zu einer Gefügestabilisierung des Gesteins führen, nicht jedoch zwangsläufig auch zu einer Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme, dies ist die Aufgabe von Hydrophobierungsmitteln. Üblicherweise tritt durch eine Festigung eine Verringerung des Wasseraufnahme- und Wassereindringkoeffizienten ein, da das Porengefüge verändert wird. SNETHLAGE (2008) definiert als Anforderung lediglich, dass es zu keiner Erhöhung kommen darf, prozentuale Zahlenwerte für zulässige Verringerungen werden nicht angegeben.

Es liegt jedoch nahe, dass die Veränderung des Wasseraufnahme- und -eindringverhaltens möglichst gering sein soll.

Die größte Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme erfolgte bei den mit elastifizierten Kieselsäureestern (KSE 300 E) und den mit 20 %igem EP-Harz (EP 20) behandelten Sandsteinen.

Bei den Proben mit 10 %iger Gelabscheidungsrate kam es nur zu einer unwesentlichen Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme. Jedoch ist bei diesen Proben die Eindringtiefe von Wasser größer als beim unbehandelten Stein. Dies deutet auf Veränderungen im Kapillarraum hin.

Interessant ist der Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme. Während bei der unbehandelten Probe und bei den Sandsteinen, die mit unelastifizierten Kieselsäureestern gefestigt sind, nach anfänglicher rascher Wasseraufnahme eine Stagnation erfolgt (vgl. auch 5.4.2.1), kommt es bei den Festigern mit Polyetherweichsegmenten und den Epoxidharzen zu einer ständigen Erhöhung der aufgenommenen Wassermenge. Die Ursache dafür liegt möglicherweise in einer randlichen Abdichtung der Proben, die bewirkt, dass eine geringere Verdunstung stattfindet. Ob dies in dem relativ kurzen Untersuchungszeitraum von 60 Minuten tatsächlich der Fall sein kann, wäre durch weiterführende Untersuchungen zu klären.

5.4.2.5 Wasserdampfdiffusion

Untersuchungsmethode:

- in Anlehnung an DIN 52615
- 3 Proben in Scheibenform Durchmesser ca. 7 cm
- Wasserdampfstrom verläuft senkrecht zur Schichtung
- Randbedingungen: Temperatur: 23 °C, Luftfeuchtigkeit: Wechsel zwischen 0-3 und 82-88 % r.F., Sorbens: Kieselgel

Untersuchungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion sind in *Tabelle 5-12* und *Diagramm 5-7* dargestellt.

Tab. 5-12: Wasserdampfdiffusionsstromdichte, diffusionsäquivalente Luftschichtdicke und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl der Proben

Probe	WDD [g/m ² *d]	s _d [m]	μ [-]	μ [%]
unbehandelt	51	0,80	40	100
KSE 100	44	0,93	46	116
KSE 300 V	43	0,96	48	119
KSE 300	38	1,08	54	136
KSE 300 E	27	1,49	74	186
EP 10	42	0,96	48	120
EP 20	35	1,15	58	144

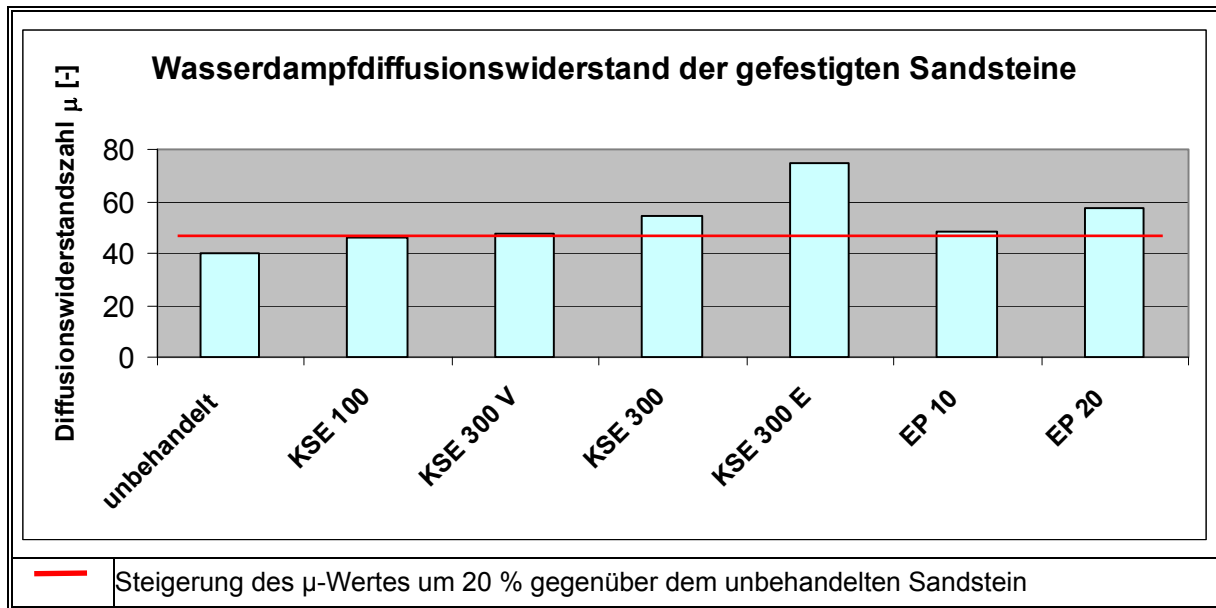


Diagramm 5-7: Diffusionswiderstandszahlen der gefestigten Sandsteine. Die rote Linie markiert den Grenzwert für die zulässige Steigerung nach SNETHLAGE (2008).

Wertung der Ergebnisse:

Gefestigte Gesteinszonen dürfen nicht als Wasserdampfsperren wirken. Nach SNETHLAGE (2008) soll die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nach einer Behandlung um nicht mehr als 20 % zunehmen.

Dieses Kriterium wird von den Kieselestern mit 30 % Gelabscheidungsrate und dem Epoxidharzfestiger mit 20 % Harzanteil nicht erfüllt, wobei bei den elastifizierten Kieselestern (KSE 300 E) eine besonders starke Erhöhung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes zu verzeichnen ist.

5.4.2.6 Hygrische Dehnung

Untersuchungsmethode:

- Messung der hygrischen Dehnung senkrecht zur Sandsteinschichtung bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten (5, 25, 50, 75 und 97 % r.F.)
- Messgerät: BAM-Setzungsdehnungsmesser (Fa. Pfenderer)
- 3 Probewürfel mit einer Kantenlänge von 5 cm
- Abstand der Messpunkte 40 mm

Untersuchungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur hygrischen Dehnung sind in der *Tabelle 5-13* und im *Diagramm 5-8* dargestellt.

Tab. 5-13: Hygrische Dehnung der Proben (Messung senkrecht zur Schichtung) bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten

Feuchtigkeit \ Probe	5 %	25 %	50 %	75 %	97 %
	Hygrische Dehnung in mm/m				
unbehandelt	0,00	0,34	0,37	0,41	0,44
KSE 100	0,00	0,49	0,54	0,56	0,61
KSE 300 V	0,00	0,39	0,44	0,49	0,58
KSE 300	0,00	0,41	0,46	0,49	0,59
KSE 300 E	0,00	0,27	0,29	0,34	0,47
EP 10	0,00	0,02	0,08	0,17	0,30
EP 20	0,00	0,02	0,08	0,15	0,25

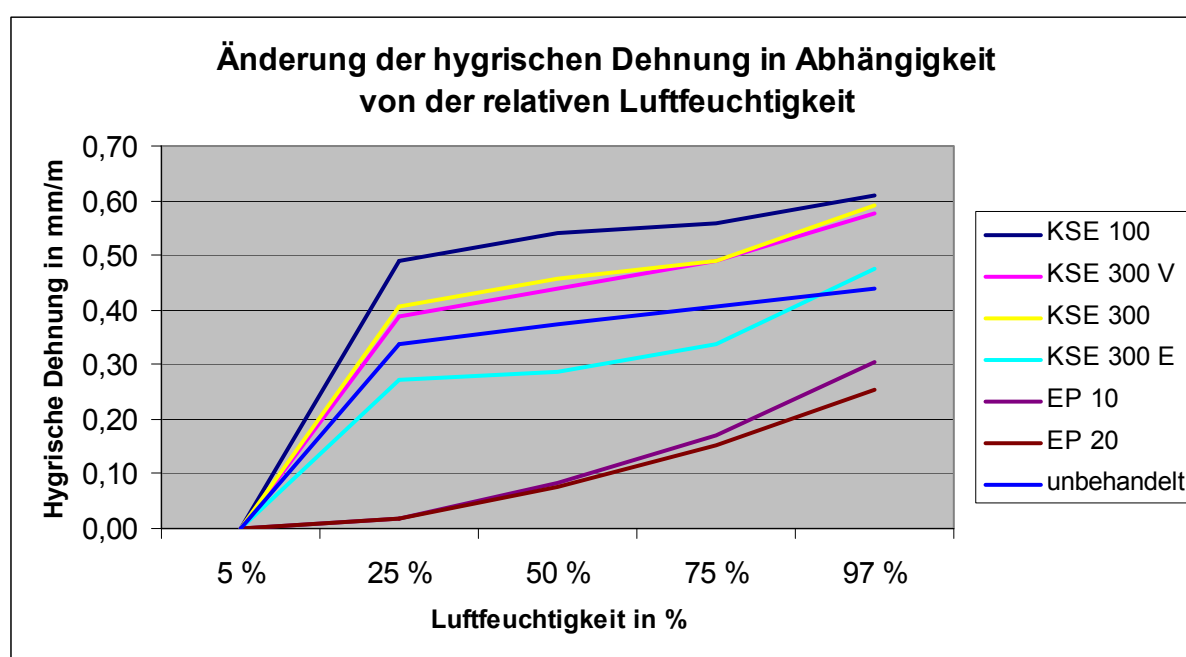


Diagramm 5-8: Hygrische Dehnung der Proben (Messung senkrecht zur Schichtung) in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit

Wertung der Ergebnisse:

Die hygrische Längenänderung gefestigter Steine soll nach SNETHLAGE (2008) gegenüber dem unbehandelten Gestein nicht zunehmen. Dieses Kriterium wird von den Kieselestern ohne elastifizierende Anteile unabhängig von ihrer Gelabscheidungsrate nicht erfüllt. Ähnliches wurde auch schon von anderen Autoren nach Festigungen mit Kieselsäureestern beschrieben (FELIX & QUEISSER 1999, SATTLER & SNETHLAGE 1995). Es wird angenommen, dass durch zusätzliche Übertragungen an neu hinzugekommenen kieselgelgefüllten Kontakten eine verstärkte Weitergabe von Gefügeexpansionen möglich ist.

Beim elastifizierten Kieselester erfolgt im Feuchtigkeitsbereich zwischen 5 und 75 % r.F. eine Verringerung der hygrischen Längenänderung, im Bereich zwischen 75 und 97 % r.F. kommt es jedoch zu einer überproportional starken hygrischen Dehnung. Die Epoxidharzfestiger führten unabhängig von ihrem Harzanteil zu einer Verringerung der hygrischen Dehnung. Die Ursache dafür liegt möglicherweise in der stärkeren Verklebung/Fixierung der Gesteinskörner untereinander. Hier sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.

5.4.2.7 Druck- und Biegezugfestigkeit

Untersuchungsmethode:

- Druckfestigkeit: 3 Probewürfel 4x4x4 cm nach DIN 52105
- Biegezugfestigkeit: 3 Prismen 4x4x16 cm nach DIN 52112
- Belastung jeweils senkrecht zur Schichtung
- Feuchtigkeit der Proben 20 %, 65 % und 100 % (wassergesättigt)

Untersuchungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen sind in der *Tabelle 5-14* und in den *Diagrammen 5-9 und 5-10* dargestellt.

Tab. 5-14: Druck- und Biegezugfestigkeit der Steine bei unterschiedlichen Feuchtezuständen

Materialfeuchte	Druckfestigkeit in N/mm ²			Biegezugfestigkeit in N/mm ²		
	20 %	65 %	gesättigt	20 %	65 %	gesättigt
unbehandelt	30,6	22,9	16,4	3,2	2,0	0,9
KSE 100	31,8	29,0	19,4	4,6	3,1	1,3
KSE 300 V	31,5	27,3	19,0	3,9	2,8	1,1
KSE 300	39,2	35,3	24,7	9,5	7,4	4,3
KSE 300 E	43,0	38,2	25,2	9,8	7,9	4,5
EP 10	32,6	26,8	21,3	4,4	3,7	1,7
EP 20	36,8	31,3	25,7	5,3	4,7	1,5

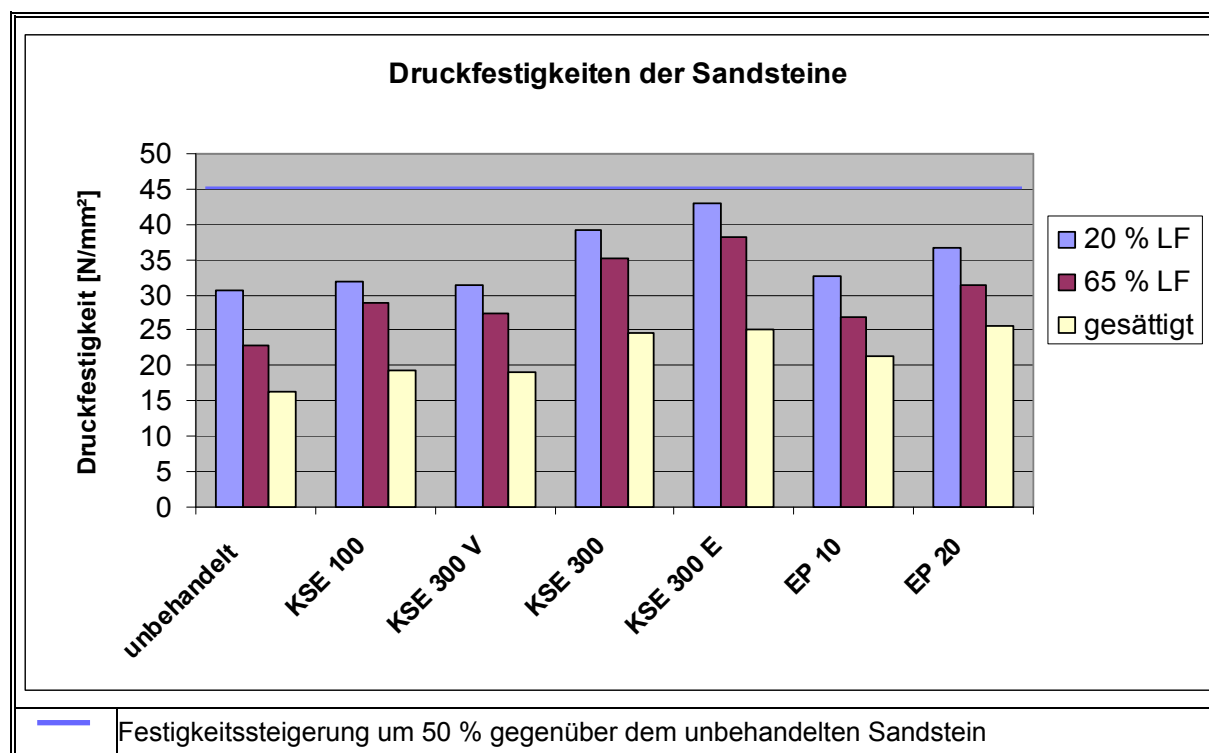


Diagramm 5-9: Druckfestigkeiten der Sandsteine. Die Linie markiert für den trockenen Sandstein eine 50 %ige Steigerung der Festigkeit gegenüber dem unbehandelten Stein

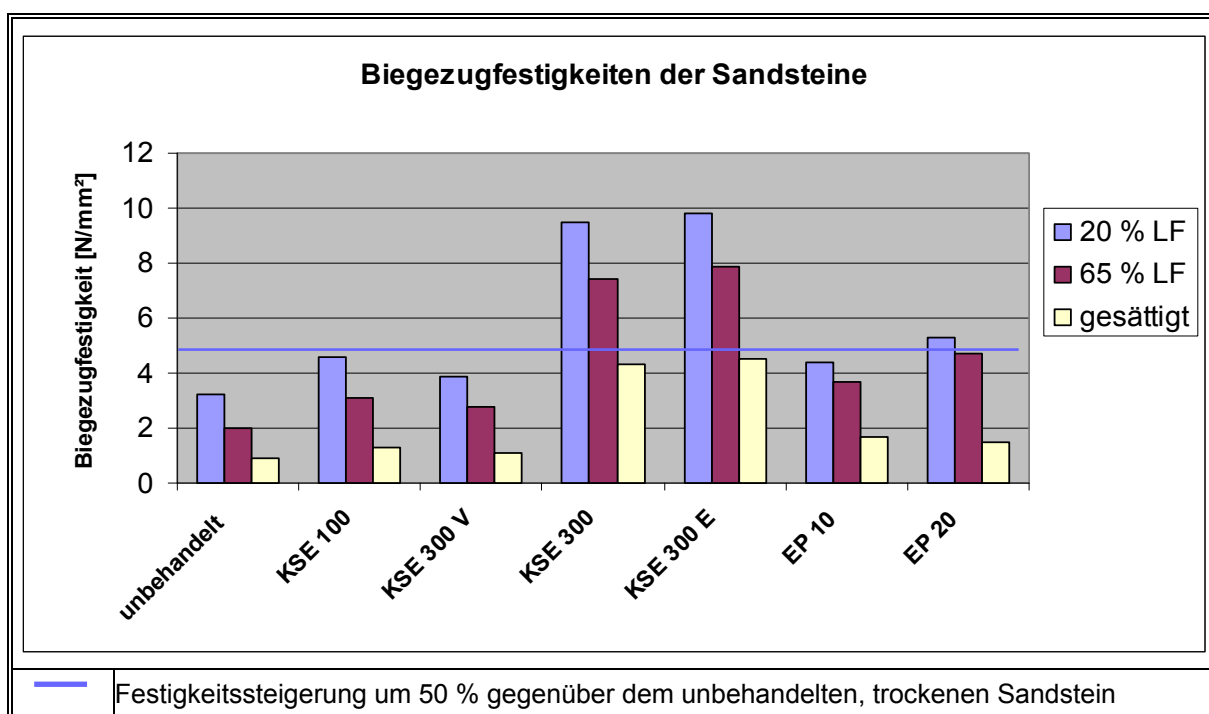


Diagramm 5-10: Biegezugfestigkeiten der Sandsteine. Die Linie markiert für den trockenen Sandstein den Grenzwert für die zulässige Festigkeitssteigerung nach SNETHLAGE (2008)

Wertung der Ergebnisse:

Die Festigkeit darf nach SNETHLAGE (2008) durch eine Festigung nur um max. 50 % höher als die des unbehandelten Steins liegen, da sonst Schalenbildung auftreten kann.

Dieses Kriterium wird bei der Prüfung der Druckfestigkeit von allen verwendeten Festigern im trockenen Zustand erfüllt. Bei der Biegezugfestigkeit, die nach SNETHLAGE für Natursteine das wichtigere Kriterium ist, liegen die Kieseleser mit einer Gelabscheidungsrate von 30 % und der Epoxidharzfestiger mit 20 % Harzanteil über dem erlaubten Grenzwert.

Weiterhin ist festzustellen, dass bei allen Proben die Festigkeit mit steigender Steifeuchtigkeit abnimmt. Diese Eigenschaft, die auch schon bei allen anderen untersuchten Sandsteinen zu vermerken war (vgl. Abschnitt 3), wird durch die verwendeten Festigungsmittel offensichtlich nicht beeinflusst.

5.4.2.8 Statischer und dynamischer E-Modul

Untersuchungsmethode:

- Messung an jeweils 3 Prismen 4 cm x 4 cm x 16 cm parallel zur Schichtung
- Statischer E-Modul: nach an DIN 18555/04
- Dynamischer E-Modul: Messung der Laufzeit der Ultraschallimpulse
Berechnung der Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Feuchtigkeit der Proben 20 %, 65 % und 100 % (wassergesättigt)

Untersuchungsergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Elastizitätsmodulen sind in der *Tabelle 5-15* und in den *Diagrammen 5-11 und 5-12* dargestellt.

Tab. 5-15: E-Module der Sandsteine bei unterschiedlichen Feuchtezuständen

Materialfeuchte	Statischer E-Modul [N/mm ²]			Dynamischer E-Modul [N/mm ²]		
	20 %	65 %	gesättigt	20 %	65 %	gesättigt
unbehandelt	6585	4293	2252	8902	4973	2764
KSE 100	8000	5243	1933	13340	7424	2720
KSE 300 V	7956	5157	1910	13312	7385	2698
KSE 300	26250	17504	7393	37235	20686	10853
KSE 300 E	19895	13266	7642	30480	16931	10818
EP 10	8560	5707	3063	17550	9764	5056
EP 20	10666	6995	4387	23450	12456	7825

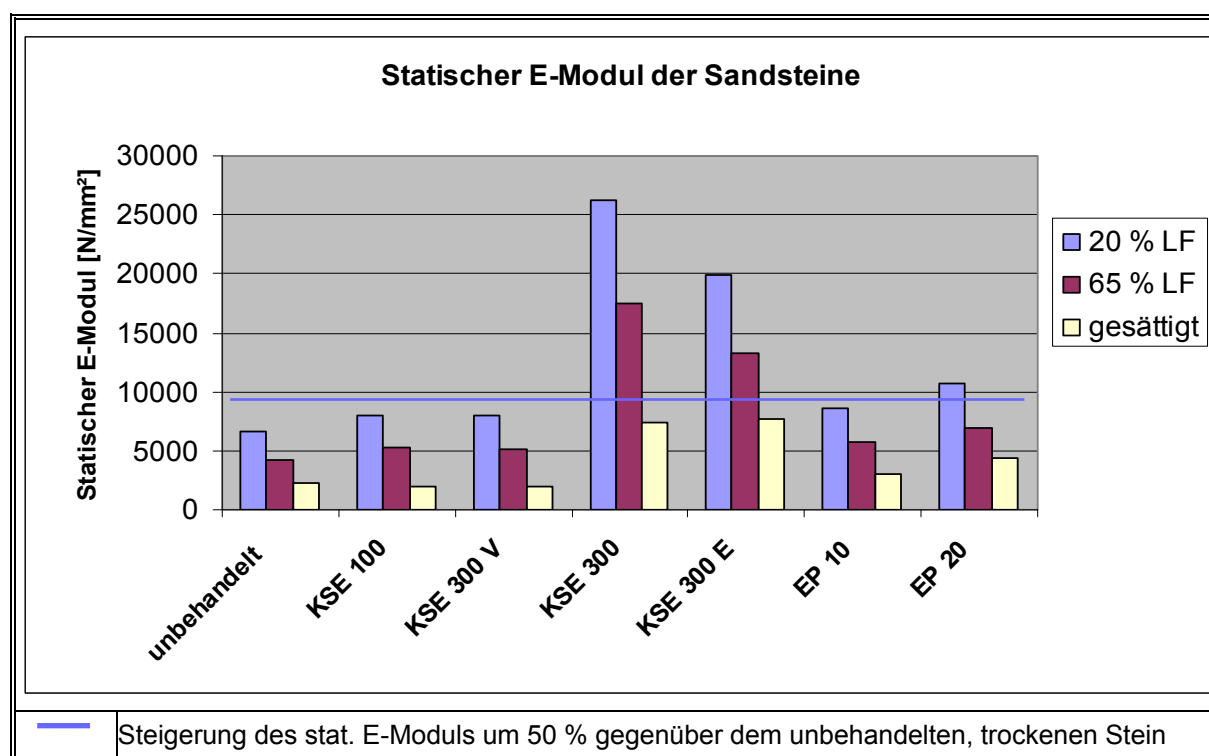


Diagramm 5-11: Statischer E-Modul der Sandsteine. Die Linie markiert für den trockenen Sandstein den Grenzwert für die zulässige Steigerung nach SNETHLAGE (2008)

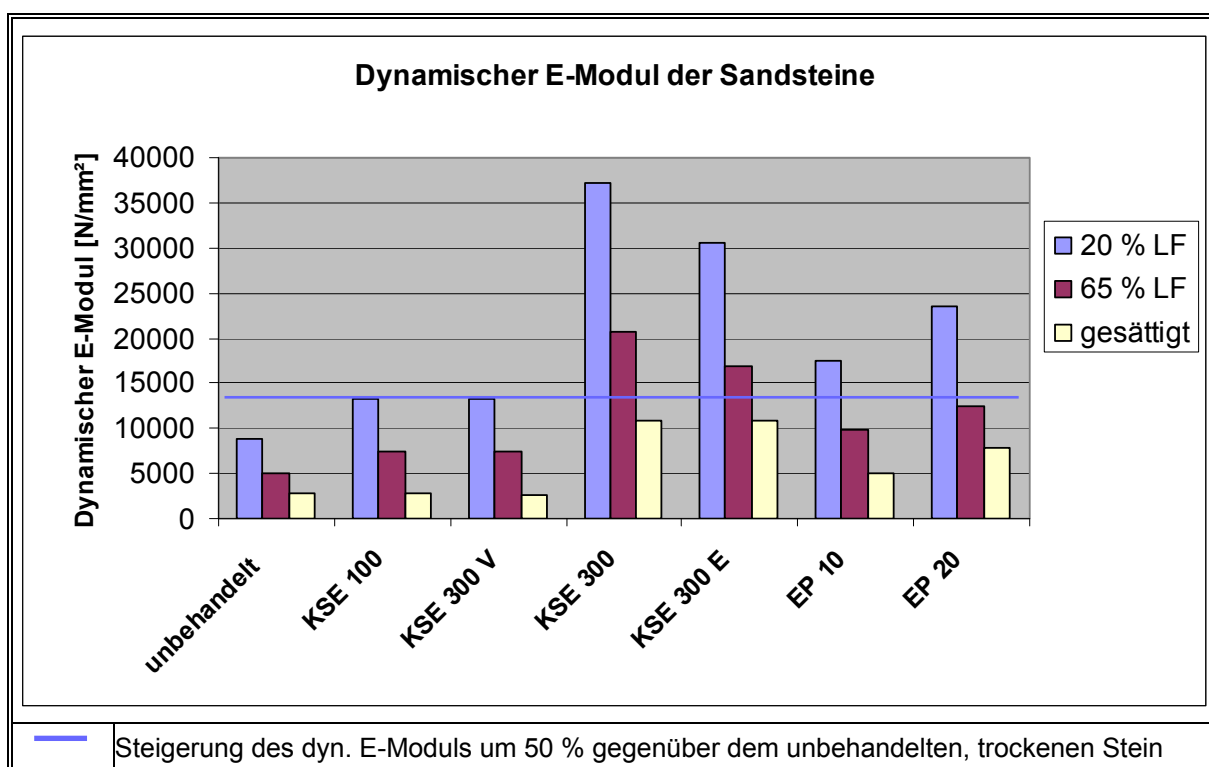


Diagramm 5-12: Dynamischer E-Modul der Sandsteine. Die Linie markiert für den trockenen Sandstein den Grenzwert für die zulässige Steigerung nach SNETHLAGE (2008)

Wertung der Ergebnisse:

Der Elastizitätsmodul darf nach SNETHLAGE (2008) durch eine Konservierung nur um max. 50 % größer werden als der des unbehandelten Steins, da sonst Schalenbildung auftreten kann.

Dieses Kriterium wird sowohl beim statischen als auch beim dynamischen E-Modul durch die Kieseleser mit 30 % Gelabscheidungsrate und dem Epoxidharzfestiger mit 20 % Harzanteil nicht erfüllt. Allerdings ist zu beobachten, dass bei den elastifizierten KSE der E-Modul weniger stark ansteigt als bei normalen Kieselsäureestern mit gleicher Gelabscheidungsrate.

Weiterhin ist festzustellen, dass bei allen Proben mit steigender Steinfeuchtigkeit der E-Modul kleiner wird, also die „Elastizität“ zunimmt.

Wie schon bei den unbehandelten Sandsteinproben gibt es deutliche Zusammenhänge zwischen den Werten der Druck- und Biegezugfestigkeit und den Elastizitätsmodulen. Damit ist es möglich, durch Bestimmung nur eines dieser Festigkeitskennwerte eine Aussage zum Erfolg der Steinfestigung zu treffen

5.4.2.9 Beständigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechsel

Untersuchungsmethode:

- in Anlehnung an DIN 52104 (Verfahren A)
- jeweils 3 Probewürfel voll getränkt
- jeweils 3 Probewürfel halb getränkt
- 20 bzw. 40 FTW (4h Lagerung im Kühlschrank bei - 20°C; 1h Wasserbad bei +20°C)
- Aufzeigung der Gefügeveränderung über Beschreibung der optischen Veränderungen und Ermittlung der Druckfestigkeit (an den voll getränkten Proben)

Druckfestigkeit der voll getränkten Proben nach 20 Frost-Tau-Wechseln:

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der *Tabelle 5-16* und im *Diagramm 5-13* dargestellt.

Tab. 5-16: Druckfestigkeit der Proben nach 20 Frost-Tau-Wechseln

Probe	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Restfestigkeit [%]	Festigkeitsverlust [%]
	vor Beginn FTW	nach 20 FTW	nach 20 FTW	nach 20 FTW
unbehandelt	30,6	23,4	76,47	23,53
KSE 100	31,8	25,9	81,45	18,55
KSE 300 V	31,5	25,5	80,95	19,05
KSE 300	39,2	33,2	84,69	15,31
KSE 300 E	43,0	40,6	94,42	5,58
EP 10	32,6	26,4	80,98	19,02
EP 20	36,8	33,0	89,67	10,33

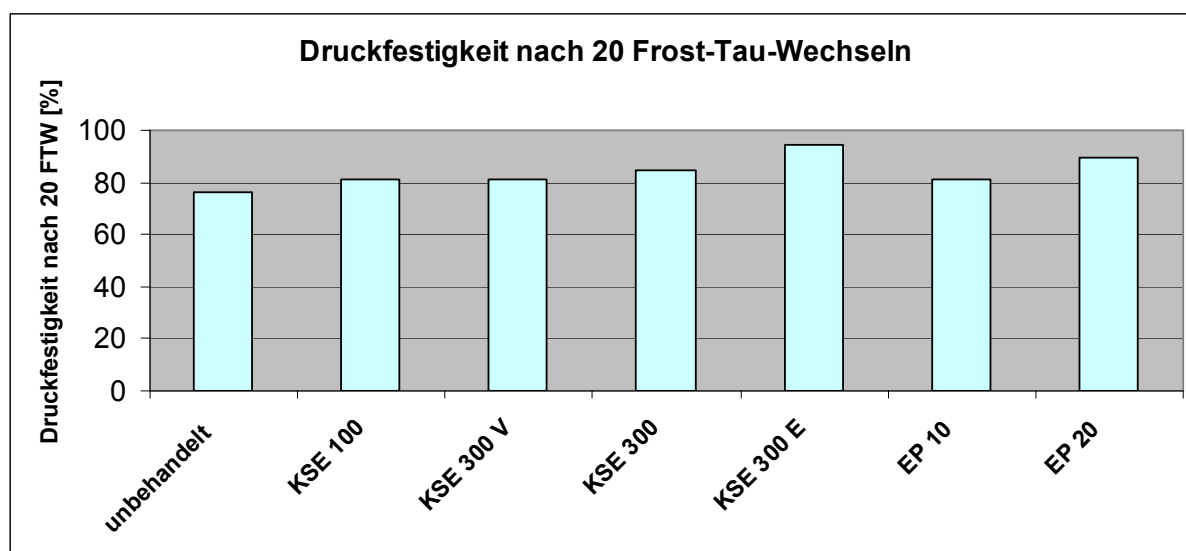


Diagramm 5-13: Prozentualer Anteil der Druckfestigkeit der Proben nach 20 FTW

Wertung der Ergebnisse:

Bei allen Proben kam es durch die Festigung zu einer Verbesserung der Frost-Tau-Beständigkeit. Die geringsten Festigkeitsverluste wurden bei den mit elastifizierten Kieselestern und bei den mit 20 %igen EP-Harz-Lösungen getränkten Sandsteinen erzielt.

Optisch sind die Schäden nach 40 FTW im Bereich der gefestigten Steinzonen kaum wahrzunehmen. An den mit KSE 100 gefestigten Steinen sind beginnende Kantenrundungen zu erkennen. Alle anderen Proben weisen in den getränkten Bereichen immer noch eine glatte, nicht absandende Oberfläche auf.

5.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch eine Reihe von Untersuchungen sollte eine Beurteilung unterschiedlicher Festigungsmittel für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine ermöglicht werden. Die *Tabelle 5-17* gibt einen Überblick über die Eigenschaftsänderungen im Vergleich zum unbehandelten Stein unter Zugrundelegung der Qualitätsanforderungen nach SNETHLAGE (vgl. auch *Tabelle 5-1*, S. 104).

Tab. 5-17: Qualitätsprüfung der Festigungen nach SNETHLAGE (2008)

Untersuchung	KSE 100	KSE 300 V	KSE 300	KSE 300 E	EP 10	EP 20
Steinfestiger						
Eindringtiefe des Festigers	-	-	(+)	-	+	+
Visuelle Veränderungen	+	+	+	(+)	+	(+)
Kapillare Wasseraufnahme	+	+	+	-	+	-
Wasserdampfdiffusionswiderstand	+	+	-	-	+	-
Hygrische Dehnung	-	-	-	(+)	+	+
Biegezugfestigkeit	+	+	-	-	+	(+)
Statischer E-Modul	+	+	-	-	+	(+)
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> + Qualitätsanforderung erfüllt - Qualitätsanforderung nicht erfüllt </div>						

Festigung mit lösemittelhaltigen Kieselsäureestern mit 10 % Gelabscheidungsrate (KSE 100 und KSE 300 V):

Bei der Festigung mit Kieselsäureestern mit 10 % Gelabscheidungsrate waren im Vergleich zum unbehandelten Stein nur geringe Festigkeitszunahmen zu verzeichnen. Ob diese ausreichen, um eine entfestigte Steinzone zu konsolidieren, muss anhand praktischer Versuche an Musterflächen überprüft werden und hängt letztendlich auch vom Zustand des zu konservierenden Sandsteins ab.

Andererseits wurden durch die Behandlung mit diesen geringen Gelabscheidungsraten auch keine negativen Eigenschaftsänderungen erzielt, was besonders in Hinblick auf die Vermeidung einer möglichen Schalenbildung positiv zu verzeichnen ist.

Beim Vergleich zwischen dem KSE 100 (ca. 20 % KSE-Gehalt und 80 % Lösungsmittel) und dem verdünnten KSE 300 V (ca. 33 % KSE-Gehalt und 66 % Lösungsmittel) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Die Eindringtiefe beider Festiger ist jedoch deutlich geringer, als die des lösemittelfreien KSE 300 und erfüllt die Kriterien nach SNETHLAGE nicht.

Die hygrische Dehnung wurde durch die Festigung nicht reduziert, es kam im Gegenteil sogar zu einer Vergrößerung der Längenänderung. Dieses Verhalten wurde für alle unelastifizierten Kieselsäureester, unabhängig von ihrem Wirkstoffgehalt beobachtet.

Festigung mit lösemittelfreiem Kieselsäureester mit 30 % Gelabscheidungsrate ohne elastifizierende Komponenten (KSE 300):

Bei der mit KSE 300 vorgenommenen Festigung konnte die höchste Eindringtiefe von allen Kieselsäureesterfestigungen erreicht werden. Allerdings konnte eine Reihe weiterer Kriterien nicht erfüllt werden.

Es kam zu einer starken Erhöhung der Festigkeiten und der E-Module, die über das gewünschte Maß hinausgehen. Weiterhin wurde die Wasserdampfdiffusion stark reduziert. Die hygrische Dehnung des Sandsteins nahm nach der Festigung mit KSE 300 zu.

Im ersten Moment entsteht so der Eindruck, dass eine Behandlung mit KSE 300 nicht infrage kommt, weil die Gefahr der Schalenbildung zu groß ist. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass sämtliche Versuche an ungeschädigtem Steinmaterial vorgenommen wurden. Bei einem geschädigten Sandstein muss von geringeren Festigkeiten in den äußeren Bereichen ausgegangen werden. Hier kann die Festigung mit KSE 300 durchaus Erfolg versprechend sein, vorausgesetzt es gelingt, einen fließenden Übergang zum ungeschädigten Stein herzustellen (z.B. durch aufbauende Tränkung im Übergangsbereich).

Festigung mit lösemittelhaltigem Kieselsäureester mit 30 % Gelabscheidungsrate mit elastifizierenden Komponenten (KSE 300 E):

Bei der mit KSE 300 E vorgenommenen Festigung wurden die geringsten Eindringtiefen aller beprobten Festiger erreicht. Weiterhin kam es zu einer Erhöhung der Festigkeit und zu einer sehr starken Reduzierung der Wasserdampfdiffusion, die über das kritische Maß hinausgehen. Der Anstieg des E-Moduls ist nicht ganz so hoch wie bei dem unelastifizierten KSE 300. Dies ist zwar günstig zur Vermeidung von Schalenbildungen, wird aber durch die geringeren Eindringtiefen wieder kompensiert.

Die hygrische Dehnung wird zunächst reduziert, im Bereich zwischen 75 und 97 % r.F. kommt es jedoch zu einer überproportional starken Längenänderung.

Insgesamt gesehen stellen sich nach dem jetzigen Stand der Untersuchungen keine überzeugenden Vorteile gegenüber einer Behandlung mit unelastifizierten Kieseestern dar.

Festigung mit 10 %igem EP-Harz (EP 10):

Bei der Festigung mit 10 %igem Epoxidharz werden scheinbar alle Anforderungen, die an eine Steinfestigung gestellt werden, erfüllt.

Die Eindringtiefe ist höher als die der Kieselsäureester, die Festigkeitssteigerungen sind vergleichbar mit denen der Kieselsäureester mit 10 % Wirkstoffgehalt.

Die Wasserdampfdiffusion wird nicht über das kritische Maß hinaus beeinträchtigt, die hygrische Dehnung des Sandsteins wird reduziert.

Ob die Festigkeitssteigerung ausreicht, um eine entfestigte Steinzone zu konsolidieren, muss anhand praktischer Versuche an Musterflächen überprüft werden und hängt vom Zustand des zu konservierenden Steins ab. Dabei ist zu bedenken, dass die Applikation der EP-Harze aufgrund der toxischen Lösungsmittel bedeutend schwieriger als die der Kieselsäureester ist (schlechte Arbeitshygiene, Gesundheitsrisiken).

Festigung mit 20 %igem EP-Harz (EP 20):

Bei der mit 20 %igem Epoxidharz durchgeführten Festigung wurden wichtige Kriterien, wie eine ausreichende Eindringtiefe des Festigers und ausgeglichene Festigkeitssteigerungen erfüllt. Die kapillare Wasseraufnahme und die Wasserdampfdiffusion wurden allerdings durch die Behandlung verringert. Inwieweit dies vertretbar erscheint, muss anhand der konkreten Umstände des zu konservierenden Objektes entschieden werden. Positiv zu verzeichnen ist, dass die hygrische Dehnung des Sandsteins reduziert und so eine maßgebliche Ursache für die Schädigungen minimiert wird.

Da Epoxidharze für die Steinkonservierung bisher nicht konfektioniert angeboten werden, besteht im Gegensatz zu den weit entwickelten, anwenderfreundlichen KSE-Systemen, immer auch die Gefahr der Fehlrezeptierung beim „Großeinsatz“ auf der Baustelle. Auch der problematische Einsatz hinsichtlich des Arbeitsschutzes ist zu bedenken.

5.5 Anwendung der Ergebnisse an Musterflächen

Im Rahmen eines durch die Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes (DBU-Förderprojekt AZ 22296-25) am Schloss Friedenstein in Gotha bot sich die Möglichkeit, die im Labor erzielten Ergebnisse zur Steinfestigung an Probe- und Musterflächen anzuwenden. Allerdings waren zum Zeitpunkt der Ausführung der ersten Proben die Untersuchungen zur Steinfestigung im Labor noch nicht abgeschlossen. Aus diesem Grund wurde zunächst der elastifizierte Kieselsäureester noch mit in die Anwendung einbezogen. Die Applikation erfolgte von April bis September 2005 an zwei Probeflächen ausgesuchter Arkadenpfeiler im Innenhof des Schlosses Friedenstein. Im September 2006 wurde an großen Musterflächen im Bereich der Südarkaden die Steinfestigung unter „normalen“ Baustellenbedingungen getestet.

Leider konnte der Vorzustand der geschädigten Sandsteine an den Probe- und Musterflächen nur empirisch beschrieben werden, da eine Materialentnahme in Form von Bohrkernen immer dazu geführt hat, dass die obere, meist durch Absandungen oder Abblätterungen geschädigte Steinschicht verloren ging. Auch die Bohrwiderstandsmessung erwies sich als ungeeignete Methode den Vorzustand messtechnisch darzustellen, da die Veränderungen der Bohrhärte innerhalb der ersten 3 cm nicht auswertbar waren.

5.5.1 Applikation der Steinfestiger

Nach entsprechenden Reinigungs- und Entsalzungsmaßnahmen wurden in Bereichen mit aktiven und passiven Absandungen, in einer aufbauenden Festigungstechnologie Kieselsäureester mit verschiedenen Gelabscheidungsraten appliziert. Zum Einsatz kamen hierbei die Produkte Funcosil® Steinfestiger 100 und Funcosil® Steinfestiger 300 E der Firma Remmers. Der Auftrag erfolgte durch Tränkung oder Injektion der Oberflächen mittels Spritzen und Spritzflaschen. Auf horizontalen Oberflächen konnten Kompressen aus Baumwollwatte als Reservoir aufgelegt werden.

Zur Überbrückung von Mikrorissen, Klüften und zur Konsolidierung von Mürbezonen an stabilere Untergründe kam eine aufbauende Festigung mit Epoxidharzlösungen zum Einsatz. Verwendet wurde hier das Produkt Epilox® T 19-32, als Lösung in den Konzentrationen 10% und 20%.

An den großflächigen Musterflächen im Bereich des Arkadensüdflügels wurde eine aufbauende Festigung mit Kieselestern ohne elastifizierende Komponenten vorgenommen. Es erfolgte die Festigung mit Funcosil® Steinfestiger 300 der Firma Remmers, welcher durch Verdünnung auf Gelabscheidungsraten von 10 bzw. 20 % gebracht wurde. Die Applikation erfolgte durch mehrmaliges Fluten mit Sprühpumpen der Fa. Gloria nass in feucht.

Bei der Festigung der Gothaer Lettenkeupersandsteine zeigte sich, dass an senkrechten Oberflächen bereits durch einfaches Fluten mühelos Eindringtiefen bis zu 5 cm erreicht werden können (*vgl. Tafel 5-2, Bild e*). Die Festigung wird unterbrochen, wenn Rissbildungen vorliegen, die nicht umflossen werden können (*vgl. Tafel 5-2, Bild f*).

	
<p>a: Applikation Kieselsäureester, 1. Durchgang mit KSE 100</p>	<p>b: Festigung mit KSE 300 E unmittelbar nach der Festigung</p>
	
<p>c: Probefläche unmittelbar nach dem Festigen/ Hinterfüllen mit Epoxidharzlösung 20%ig</p>	<p>d: Probefläche nach Verdunsten des Lösungsmittels</p>
	
<p>e: Eindringtiefe (4-5 cm) des Festigers an senkrechten Bossen nach der Hauptfestigung</p>	<p>f: Eindringtiefe (ca. 3,5 cm) des Festigers bis zu Rissbildungen, die nicht überbrückt werden</p>

Tafel 5-2: Applikation der Festiger an den Musterflächen (Fotos a-c: T. Berbig)

5.5.2 Ergebnisse

Aufbauende Festigung mit KSE 100 und elastifiziertem Kieselsäureester KSE 300 E:

Bei visueller Betrachtung der gefestigten Steinflächen und bei der Untersuchung des Abriebverhaltens konnten keine Einschränkungen hinsichtlich des Festigungserfolges festgestellt werden. Die Steinoberflächen sandeten nicht ab, Abschuppungen konnten so konsolidiert werden, dass weitergehende restauratorische Bearbeitungen (Ergänzungen, Schlämmen) möglich waren.

Um die Eindringtiefe des Steinfestigers zu überprüfen, wurde ein Bohrkern gezogen. Dabei konnte bereits durch die bestehende Dunkelfärbung des Steins in Bereichen die mit KSE 300 E getränkt worden waren, die Eindringtiefe festgestellt werden. Es zeigte sich, dass die Eindringtiefe dieses Festigers nur etwa 10 bis 15 mm beträgt (*Abbildung 5-5*).

Dieses Ergebnis korreliert mit den Erkenntnissen aus den Laboruntersuchungen, bei denen das Eindringverhalten des elastifizierten Kieselsäureesters deutlich schlechter war, als das der unelastifizierten Kieselsäureester.

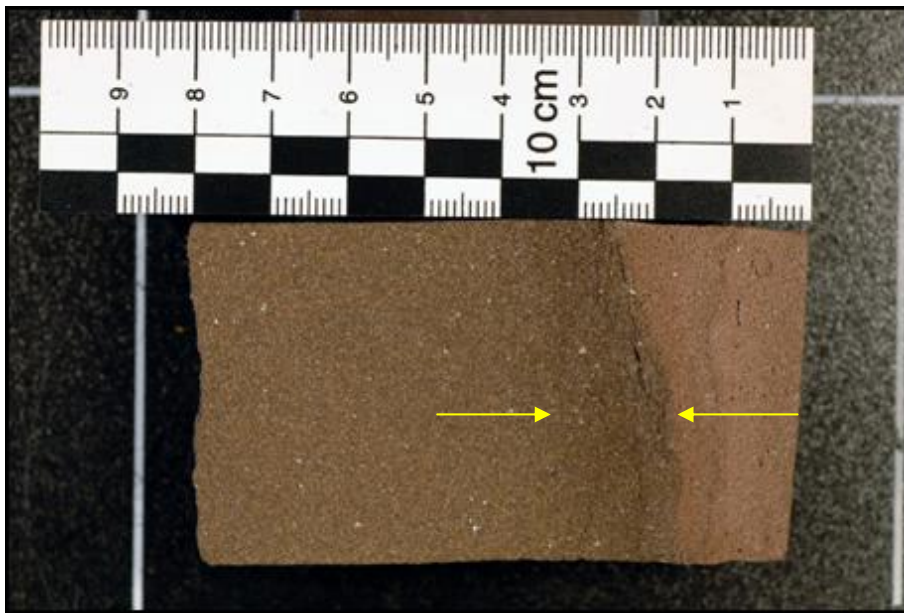


Abb. 5-5: Profilschnitt eines Bohrkerns aus der Musterachse (Foto: MFPA Weimar, Dr. Zier) Rechts befindet sich der Restauriermörtel (hellbraun) auf der schräg verlaufenden ehemaligen Steinoberfläche. Links daneben deutet sich durch eine geringfügige Verdunklung in einer Stärke von 10 bis 15 mm der gefestigte Bereich an (Pfeile). Es ist zu erkennen, dass kurze, feine Risse vom Festiger „umflossen“ wurden, so dass auch die dahinter liegenden Bereiche getränkt wurden.

Zusätzlich wurde am Probepfeiler der Ostseite eine Bohrwiderstandsmessung an einer weiteren mit KSE 300 E gefestigten Stelle (ohne Aufmörtelung von Restauriermörtel und ohne Schlämme) durchgeführt.

Dabei wurde in ca. 12 mm Tiefe ein geringer Versprung festgestellt, der die Eindringgrenze des Steinfestigers markieren könnte (Diagramm 5-14).

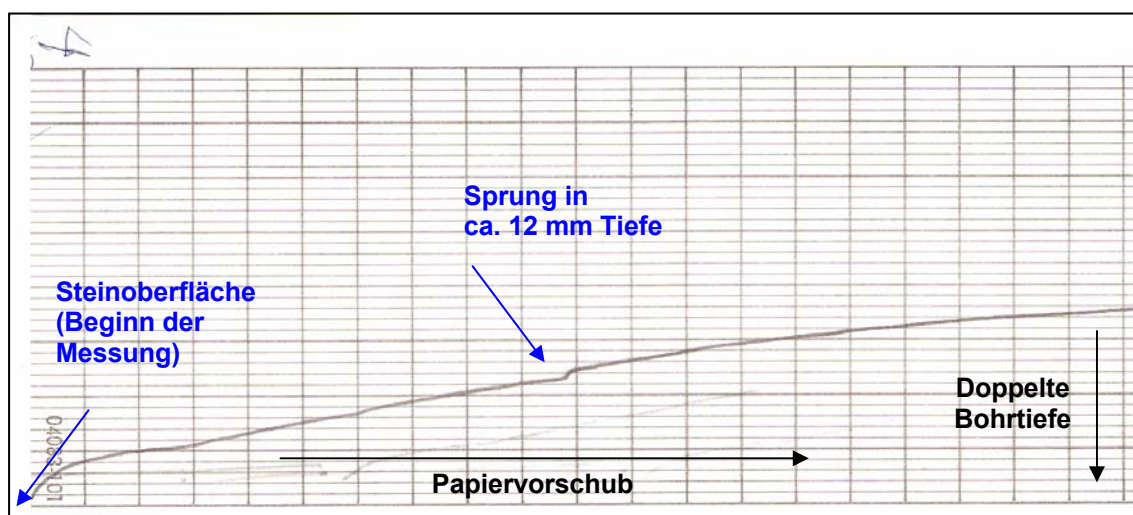


Diagramm 5-14: Bohrdiagrammkurve einer Probe der Musterfläche mit einem Härtesprung in ca. 12 mm Steintiefe

Es ist allerdings festzustellen, dass sich der Kurvenanstieg nach diesem Sprung nicht signifikant verändert. Es wäre eigentlich zu erwarten gewesen, dass der Kurvenanstieg in den ungefestigten Bereichen steiler wird. Dass dies nicht so ist, könnte auch auf ein ausgeglichenes Festigkeitsprofil hindeuten.

Trotzdem ist die Eindringtiefe mit 12 mm als zu gering einzuschätzen, da die gestörte, verwitterte Steinzone beim Gothaer Lettenkohlsandstein ca. 30 mm beträgt. Dieser Bereich muss im Rahmen der Steinfestigung mindestens überbrückt werden, um an den gesunden Steinbestand anzuschließen.

Aufbauende Festigung mit KSE 300 mit Gelabscheidungsraten zwischen 10 und 20 %:

Die visuelle Bewertung der Musterfläche ergab nach der 1. Winterperiode keine Hinweise auf Schäden oder Schadensprozesse an den Lettenkohlsandsteinen.

Um die Eindringtiefe des Steinfestigers zu überprüfen, wurden zwei Bohrkerns gezogen. Dabei konnten rein visuell (durch Verdunklung) keine Festiger nachgewiesen werden (Abbildungen 5-6 und 5-7). Auch durch Benetzen mit Wasser zeigten sich keine Unterschiede. Dies korreliert mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen, bei denen optische oder hygrische Veränderungen nach der Festigung mit unelastifizierten Kiesel-säureestern nicht festzustellen waren.

Die Bohrwiderstandsmessung erwies sich in Hinblick auf den Nachweis des Festigungserfolges ebenfalls als ungeeignet. Ab einer Bohrtiefe von ca. 25 bis 30 mm verlangsamte sich die Bohrgeschwindigkeit wegen des Transportes des Bohrmehls so, dass eine Bewertung des Bohrwiderstandes nicht mehr möglich war. Innerhalb dieser Spanne konnten, an 11 beprobten Werksteinen keine signifikanten Änderungen der Bohrhärte festgestellt werden.

Da unmittelbar nach der Festigung Eindringtiefen des Steinfestigers von 40 bis 50 mm festgestellt wurden, konnte der mutmaßliche Übergangsbereich zwischen gefestigtem und ungefestigtem Stein mit der Bohrwiderstandsmessung nicht erreicht werden.

Bei der Auswertung der Bohrkerns konnte allerdings festgestellt werden, dass in einer Tiefe von 1 bis 7 mm unter der Steinoberfläche feine Rissbildungen und Lockerungszonen vorliegen, die an allen beprobten Sandsteinen nachgewiesen werden konnten und offenbar ein typisches Schadbild für die Gothaer Arkadensteine darstellen.

Diese feinen Rissbildungen wurden zwar vom Festiger umflossen (vgl. auch Abbildung 5-5), aber nicht überbrückt bzw. verklebt. Dies können Kieselsäureester naturgemäß auch nicht leisten.

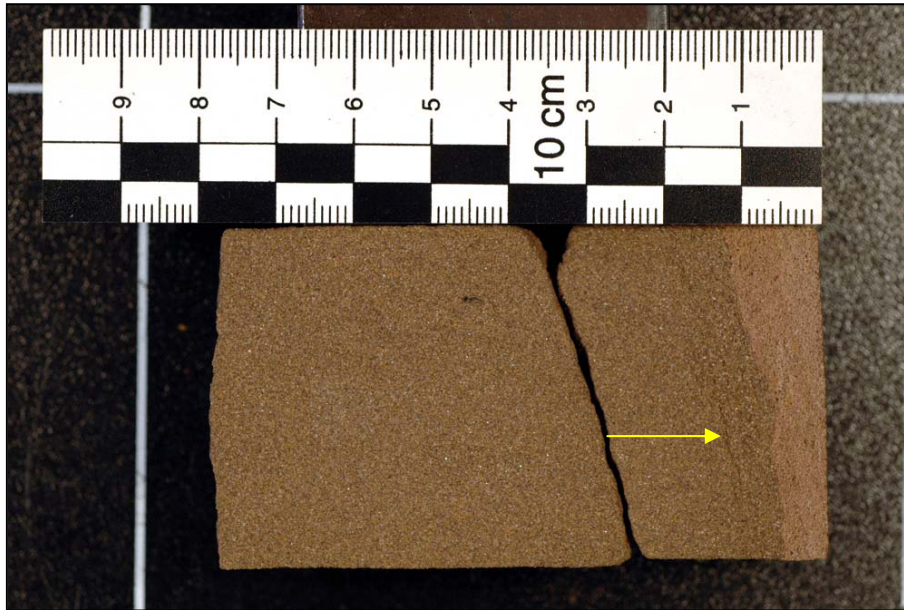


Abb. 5-6:
Profilschnitt eines
Bohrkerns
des Pfeilers Nr. 6-W
(Foto: MFPA Weimar,
Dr. Zier)

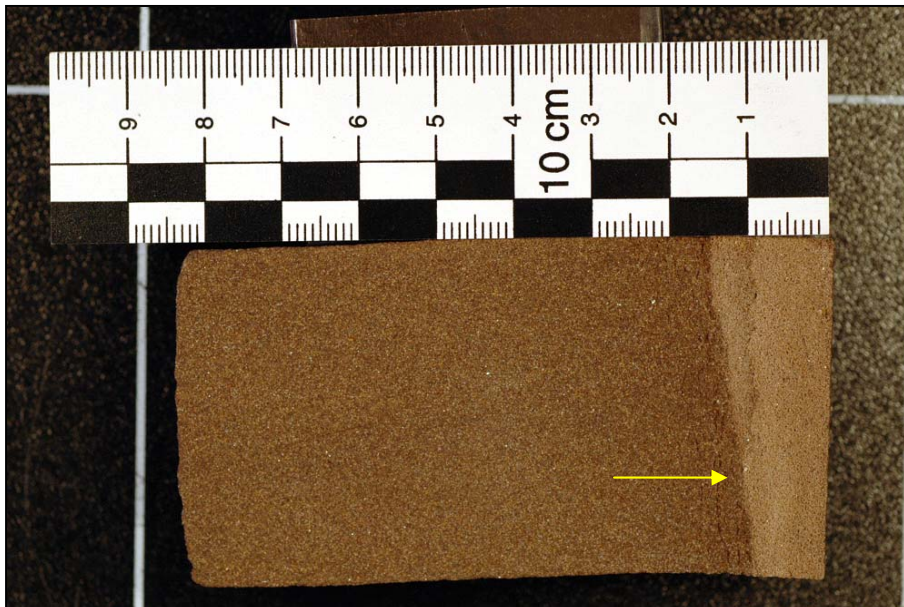


Abb. 5-7:
Profilschnitt eines
Bohrkerns
des Pfeilers Nr. 6-N
(Foto: MFPA Weimar,
Dr. Zier)

Ganz rechts ist jeweils die Steinerfüllung aus Acrylmörtel zu erkennen, die nach der Festigung aufgebracht wurde. In etwa 1,3 und 3,5 mm bzw. von 5 bis 7 mm Tiefe unter der Steinoberfläche sind oberflächenparallele Rissansätze erkennbar (Pfeile). In größerer Tiefe (> 4 cm) sind im Stein keine Rissansätze oder andere Störungszonen sichtbar.

Die Schalenbildungen ließen sich auch mit Hilfe der Bohrwiderstandsmessung nachweisen (Diagramm 5-15). Dabei konnten mehrere Sprünge in der Bohrdiagrammkurve registriert werden, die die Bereiche zwischen den Schalenbildungen markieren.

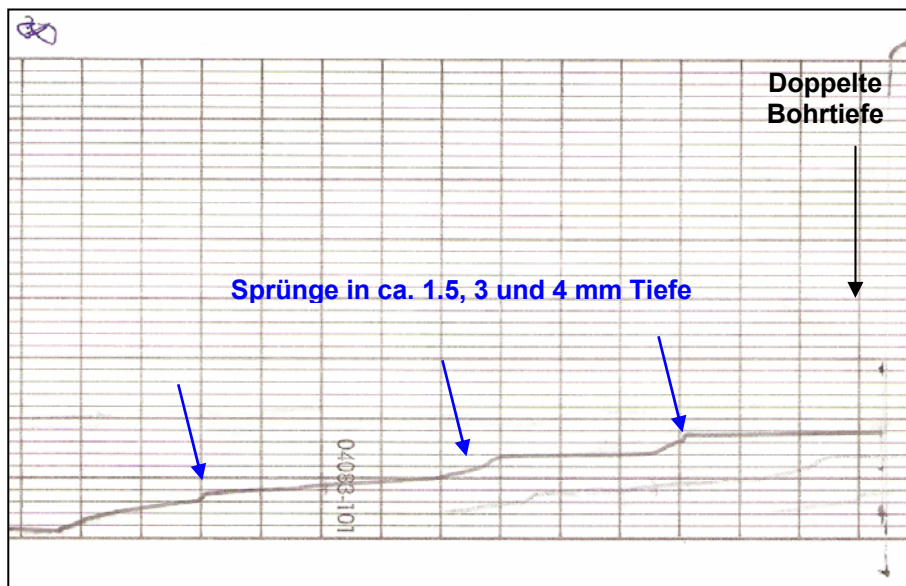


Diagramm 5-15: Bohrdiagrammkurve einer Probe der Musterfläche mit mehreren Festigkeitssprüngen, die die Schalenbildung verdeutlichen.

5.5.3 Schlussfolgerungen aus den Musterflächen

Bei der Festigung der Gothaer Lettenkeupersandsteine hat sich der elastifizierte Kieselsäureester hinsichtlich der erreichten Eindringtiefen als ungeeignet erwiesen. Deutlich bessere Eindringtiefen konnten mit Kieselsäureestern ohne elastifizierende Komponenten und mit Wirkstoffgehalten von 10 bis 20 % erreicht werden, die als „aufbauende Festigung“ in 2 bis 3 Arbeitsgängen appliziert wurden. Beim Einbringen von Festigern in die Steine der überhängenden Bogenflächen wurden nur ungenügende Eindringtiefen erreicht, hier muss über andere Applikationsmethoden nachgedacht werden.

Als problematisch sind auch nach der Festigung die oberflächennahen Bereiche der vorgeschädigten Sandsteine anzusehen. Schwachstellen, die durch die Festigung zwar umflossen, aber nicht überbrückt werden konnten, befanden sich überwiegend im Bereich von oberflächenparallelen Rissansätzen in bis zu 2 mm Tiefe im Stein. Aktuell konnte ein ausreichender Verbund nachgewiesen werden. Mit der Zeit muss aber mit einer erneuten Schädigung gerechnet werden.

Hier offenbart sich ein grundlegendes Problem bei der Festigung der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine. Es ist nicht möglich, solche feinen Rissbildungen mit filmbildenden, verklebenden Konsolidierungsmedien zu erreichen, da sich die Risse in der Regel noch nicht nach außen geöffnet haben. Anders als bei sich ablösenden Schuppen- oder Schalenbildungen ist ein Verkleben, Verschlämmen, Hinterstopfen oder Verfüllen dieser feinen Rissbildungen nicht umsetzbar.

5.6 Bewertung der Festigungsmaßnahmen – Hinweise für die Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

5.6.1 Einschätzung der Festigungsmöglichkeiten

Die Untersuchungen zur Festigung des Gothaer Lettenkeupersandsteins bekräftigen die im Rahmen früherer Untersuchungen und Konservierungsmaßnahmen an weiteren thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse. Daraus lassen sich folgende Aussagen zur Festigung dieser Sandsteine ableiten:

- Eine Festigung mit Kieselsäureestern ist unter folgenden Voraussetzungen möglich:
 - Verwendung von niedrigmolekularen, möglichst lösungsmittelfreien Kieselsäureestern
 - Begrenzung der Gelabscheidungsrate auf max. 20 %
 - keine Verwendung von Kieselsäureestern mit elastifizierenden oder hydrophobierenden Komponenten
 - aufbauende Festigung in zwei bis maximal drei Festigungszyklen mit steigenden Wirkstoffgehalten um Eindringtiefen von mindestens 30 bis 40 mm zu erreichen und um das Festigungsprofil ausgeglichen gestalten zu können.
- Die Festigung mit EP-Harzen ist möglich, wenn:
 - die Wirkstoffgehalte auf ca. 20 % Harzanteil begrenzt werden (Höhere Anteile sind erforderlich, wenn Klebungen vorgenommen werden und dürfen dann nur kleinflächig zur Anwendung kommen).
 - Wirkstoffgehalte von 10 % stellten die untere Grenze für ein Verkleben der Körner dar.
 - Die Festigung sollte in Form einer aufbauenden Tränkung mit Wirkstoffgehalten von 10 bis 20 %, vorgenommen werden.
- Die Festigung mit anderen Festigungssystemen (Kieselsole, Polyurethane oder Polymethylmethacrylate) hat sich – bis auf wenige Ausnahmen im feinplastischen Bereich – als nicht Erfolg versprechend herausgestellt.

Diese Aussagen stellen orientierende Empfehlungen zur Festigung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine dar, dürfen aber Voruntersuchungen am konkreten Objekt und Sandstein nicht ersetzen!

In Abhängigkeit vom **Gesteinstyp** (Qualitätsgruppe) kann es zu Einschränkungen bei der Festigung kommen, wenn gesteinsbedingte Inhomogenitäten vorliegen, die durch den Festiger nicht umflossen oder überbrückt werden können. Davon sind in erster Linie die Sandsteine der Qualitätsgruppe III, teilweise auch der Gruppe II betroffen. Die Sandsteine der Qualitätsgruppe I dürften in der Regel gute Aussichten auf einen Erfolg der Festigungsmaßnahme haben.

Weiterhin spielen die konkret vorliegenden **Schadbilder** und der Schädigungsgrad der Sandsteine eine Rolle. So ist es nur bedingt möglich, durch eine Festigung Riss- und Schalenbildungen zu überbrücken und zu konsolidieren, insbesondere dann, wenn diese nicht von außen zugänglich sind. Auch stark entfestigte Gesteinsbereiche lassen sich nur schwer an das intakte Kerngestein anbinden, zumal die Spanne möglicher Wirkstoffgehalte begrenzt ist.

Die **Belastungssituation** am Objekt hat ebenfalls Einfluss auf den Festigungserfolg. So zeigte sich, dass die Festigeraufnahme durch verdichtete Oberflächen stark behindert wird (z.B. Putto „Flötenspieler“ auf der Creuzburg, Bahnhof in Eisenach). Auch bei salzbelasteten Werksteinen ist die Festigung nur eingeschränkt wirksam bzw. kann sie sogar zu größeren Folgeschäden führen (z.B. Kellergewölbe Krämerbrücke 19 in Erfurt).

Letztendlich spielt auch die **Applikation** des Festigers eine Rolle beim Festigungserfolg bzw. bei den zu erzielenden Eindringtiefen. An überhängenden Bauteilen oder Untersichten müssen, wie das Beispiel der Gothaer Schlossarkaden zeigte, andere Applikationsverfahren angewandt werden, um der Schwerkraft entgegenzuwirken. Weitere Rahmenbedingung, wie Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Zugänglichkeit oder Feuchtezustand des Objektes haben Einfluss auf die Konservierungsmaßnahme. So ist es sicher kein Zufall, dass Plastiken, die in der Werkstatt, nach ausreichender Trocknung und unter idealen klimatischen Bedingungen konserviert wurden, auch bei Verwendung scheinbar weniger geeigneter Festigungsmittel fast immer erfolgreich und dauerhaft konserviert wurden (z.B. Putti der Creuzburg, Kreuzwegstation in Wolfmannshausen).

5.6.2 Weiterer Entwicklungsbedarf

Ansatzpunkte für Entwicklungsmöglichkeiten bei der Festigung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine liegen in der Bereitstellung konfektionierter niedrigmolekularer Kieselsäureester mit Gelabscheidungsraten von 10 und 20%. Durch gezielt eingesetzte Katalysatoren, die die Reaktionsgeschwindigkeit und damit die Eindringtiefe bestimmen, könnten ggf. weitere Optimierungen vorgenommen werden.

Auch bei den Applikationsmethoden und -bedingungen deutet sich weiterführender Untersuchungs- und Entwicklungsbedarf an. So wäre z.B. bei der Festigung mit Epoxidharzlösungen zu prüfen, ob durch gezielte Vorbehandlungen des zu konservierenden Sandsteines, z.B. durch Feuchtigkeitsentzug, die Eindringtiefen noch verbessert werden können. Auch für die Applikation der Festiger an überhängenden Bauteilen wurde noch keine zufrieden stellende Lösung gefunden.

5.6.3 Erfahrungen mit ergänzenden Konservierungsmethoden und flankierenden Schutzmaßnahmen

Die bisherigen Darlegungen zu den Eigenschaften und Konservierungsmöglichkeiten der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine zeigen, dass die Steinfestigung alleine in der Regel nicht ausreicht, um den Stein ausreichend zu konsolidieren und vor weiteren Zerstörungen zu schützen. Insbesondere die häufig vorkommenden Inhomogenitäten und Rissbildungen und die Schadbilder „Abblätterung“ und „Abschalung“ zwingen zu ergänzenden Konservierungsmaßnahmen. Erfahrungen mit weiteren Konservierungsmethoden und flankierenden Schutzmaßnahmen, die im Rahmen der Nachuntersuchungen an konservierten Werksteinen erfasst wurden, werden nachfolgend vorgestellt. Die detaillierte Beschreibung kann für ausgewählte Objekte dem Anhang IV entnommen werden.

Klebung und Hinterfüllung von Schalen- und Rissbildungen:

Offene Abschalungen oder Rissbildungen werden gereinigt und punktuell mit Epoxidharz verklebt. Wenn noch keine Öffnung bzw. Trennung der Schalen erfolgt ist, werden diese angebohrt und mit Epoxidharz durch Injektion überbrückt. Wenn nötig wird eine Armierung mit Glasfieberstäben vorgenommen. Dann erfolgt, soweit möglich, eine Hinterfüllung und ein Verschluss mit Restauriermörtel. Für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine kamen bisher unterschiedliche Mörtelsysteme zur Anwendung.

An den Erken der Heldburg wurden an Probeflächen Mörtel aus verdünnter kolloidaler Kieselsäure und mineralischen Füllstoffen verwendet. Nach 3 Jahren Standzeit zeigte sich ein Abkreiden des Mörtels und ein Ablösen vom Untergrund. Außerdem traten relativ kurz nach der Bearbeitung Braun- bis Schwarzfärbungen auf.

Am Bahnhof Eisenach erfolgten Schalenanböschungen und Hinterfüllungen mit Mörteln auf KSE-Basis. Verwendet wurde eine Mischung aus Kieselsäureester mit 50 % Gelabscheidungsrate, Pigmenten und mineralischen Zuschlägen, deren Anteil je nach erforderlicher Viskosität variierte. Die 2003 durchgeführten Nachuntersuchungen ergaben, dass die Schalenbildungen zwar teilweise noch hohl klangen und durch die Bohrwiderstandsmessungen auch nachgewiesen werden konnten, dass aber die Haftung und Anbindung an das Kerngestein noch gewährleistet war.

Weit verbreitet ist in Thüringen das Hinterfüllen und Anböschern von Schalen mit Mörteln aus Acrylharzdispersion und mineralischen Füllstoffen. Damit wurden sowohl auf der Heldburg, als auch an den Putti der Creuzburg und der Kreuzwegstation Wolfmannshausen gute Ergebnisse erzielt (*Abbildung 5-8*).



*Abb. 5-8:
Veste Heldburg, Herrenerker,
Relief nach der Festigung,
Schalenhinterfüllung und
Kittung der Fehlstellen mit
Acrylharzdispersionsmörteln
(Foto: Staemmler)*

Steinergänzungen mit Restauriermörteln:

Steinergänzungen, die im konservierenden Sinne eingesetzt werden, dienen in erster Linie der Verbesserung der Niederschlagsabführung. Je nach Anwendungsfall und Belastung wurden für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine bisher sowohl konfektionierte mineralische, als auch acrylatgebundene Restauriermörtel verwendet. Mineralische Mörtel kommen vorzugsweise für Unterfütterungen und größere Fehlstellen zur Anwendung. Sie erfordern ein Ausarbeiten der Fehlstellen. Acrylatgebundene Mörtel sind dagegen auch für flach auslaufende oder plastisch gearbeitete Oberflächen geeignet, da sie kein Ausarbeiten der Fehlstellen erfordern und gegen „Null“ ausgezogen werden können. Für Ergänzungsarbeiten an den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen sind sie besonders gut geeignet, da sie in der Festigkeit reduziert werden können. Im Rahmen des bereits genannten DBU-Förderprojektes am Schloss Friedenstein in Gotha wurden für den dortigen Lettenkeupersandstein acrylatgebundene Steinergänzungsmörtel entwickelt, die sehr gut angepasste Festigkeiten und Strukturen bei ausreichendem Diffusionsvermögen besitzen (HOPP & ZIER 2008).

Fixierung von Abschuppungen:

Der Klebung und Fixierung von Schuppenbildungen kommt besondere Bedeutung zu, da sie ein sehr häufig anzutreffendes Schadbild bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen darstellen, das nur schwierig zu konservieren ist. In Thüringen wurden dafür bisher unterschiedliche Wege beschritten.

An den Erken der Heldburg und an verschiedenen figürlichen Objekten (z.B. Putti der Creuzburg und der Kreuzwegstation Wolfmannshausen) erfolgte eine Vorfestigung der betreffenden Bereiche und anschließend eine aufbauende Klebung durch direkte Spritzeninjektion mit EP-Harzen in Konzentrationen von 10 bis 50 %. An den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Objekten sind die in dieser Form konservierten Steinoberflächen nach 10 und mehr Jahren Standzeit noch gut erhalten und weisen keinen weiteren Schadensfortschritt auf (*Abbildung 5-9*).



*Abb. 5-9:
Veste Heldburg, Detail am Frauenerker
Zustand von konservierten abblätternden
Bereichen nach 10 Jahren Standzeit.
Die Schuppen sind noch fest mit dem
Kerngestein verklebt und blättern trotz
Salzbelastung nicht ab*

An den Arkadenbögen des Gothaer Schlosses erfolgte eine aufbauende Festigung der abblätternden Bereiche mit KSE und anschließend ein Schlämmen der Oberfläche mit einer speziell rezeptierten Schlämme auf Acrylatdispersionsbasis (HOPP & ZIER 2008).

Nach zunächst erfolgter Anpassung der Verarbeitungseigenschaften und der Abstimmung an die Oberflächenstruktur der angewitterten Steinoberflächen wurden in einem zweiten Schritt farbliche Angleichungen an den Sandstein vorgenommen (*Abbildungen 5-10 und 5-11*).



Abb. 5-10 und 5-11: Die beiden Bilder zeigen Probeflächen mit unterschiedlich pigmentierten Schlämmen. Im Vergleich zu den Steinflächen, die nur gefestigt wurden (jeweils linke Quaderhälften), erscheint die mit der Schlämme überarbeitete Fläche geschlossener. Gleichzeitig kann aber immer noch die durch Abwitterung entstandene Struktur der Steinoberfläche nachempfunden werden. (Fotos: MFPA Weimar, Dr. Zier)

Das Aufbringen der Schlämme erfolgte mit Pinseln, die Schlämme musste gut in die Steinoberfläche verstrichen werden, da bei größeren Schichtdicken feine Rissbildungen entstanden und die Steinstruktur verloren ging.

Die visuelle Bewertung der Musterflächen ergab nach einer Winterperiode keine Hinweise auf Schäden oder Schadensprozesse an den geschlämmten Oberflächen. Die Haftung zum Stein war überall noch gut, die Schlämme ließ sich nicht abreiben und zeigte keine Rissbildungen oder sonstige Schäden. An den beprobten Stellen waren sehr große Unterschiede in der Wasseraufnahme nachweisbar. Eine Abhängigkeit der Wasseraufnahme von den beprobten Untergründen konnte nicht nachgewiesen werden. Die Werte variierten sehr stark. Ursachen könnten z.B. in der Eindringtiefe des Festigers und in der Schichtdicke der aufgetragenen Schlämme zu suchen sein. Für eine Bewertung des Langzeitverhaltens waren die bisherigen Standzeiten zu kurz.

Flankierende Schutzmaßnahmen:

Bei allen untersuchten Objekten aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen hatten konstruktive Schutzmaßnahmen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit ausgesprochen positive Auswirkungen auf die Beständigkeit der Konservierung bzw. haben diese erst ermöglicht oder weiterführende Maßnahmen (z.B. konservatorische Steinergänzungen) unnötig gemacht.

Zu den Schutzmaßnahmen gehören Gesims- und Sohlbankabdeckungen, Pfeiler- und Mauerkronenabdeckungen, sowie geordnete Wasserabführungen über Dachrinnen und Fallrohre. Auch die Wintereinhausung von Skulpturen und plastischer Bauzier kann einen wirkungsvollen Beitrag zum Erhalt der Sandsteine leisten.

Zum Schutz vor Durchfeuchtung aus dem Untergrund sollten Sperrmaßnahmen, wo immer sie möglich sind, ergriffen werden.

Sandsteine der Qualitätsgruppe III sollten, wenn möglich, eine schützende, wasserabweisende, diffusionsoffene Beschichtung (Anstriche oder Schlämmen) erhalten. Dies ist auch insofern gerechtfertigt, als sie historisch in sehr vielen Fällen in Thüringen belegt sind.

In Innenräumen (z.B. Kellergewölben) kann durch die Einstellung eines stabilen Raumklimas, ohne starke Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen, ein Beitrag zur Konservierung der Sandsteine geleistet werden. Diesbezügliche positive Erfahrungen liegen bereits vor (LOS 2000, FILBAUER 2005).

5.6.4 Hinweise zur Konservierung thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine

Die Auswertung bisheriger Konservierungsmaßnahmen und die Laboruntersuchungen zur Festigung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine haben gezeigt, dass es nicht möglich ist, für diese Steine eine allgemeingültige Konservierungsstrategie zu formulieren. Zu komplex sind die Anforderungen, die sich aus den Schadbildern und aus den Gesteinseigenschaften ergeben. Deren Kenntnis ist Voraussetzung und wird durch die Definition von Qualitätsgruppen erleichtert, ersetzt jedoch nicht die Bewertung bzw. Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren, wie z.B. die Belastungs- und Einbausituation sowie die kulturhistorische Wertigkeit und beabsichtigte Nutzung des zu konservierenden Objektes.

So muss das plastische Bildwerk sicher aufwendiger bearbeitet werden als der Werkstein in der Fassade, dieser wiederum anders als der Mauerstein in einer Bruchsteinwand.

Die stark absandende Oberfläche einer Bildplastik erfordert eine konservatorische Bearbeitung, während ein einfacher Werkstein mit dem gleichen Schadbild wohl eher ausgetauscht wird.

Konservierte Sandsteine der Qualitätsgruppe III werden bei gleichem Schadbild und gleicher Konservierungstechnologie nicht die gleiche Haltbarkeit aufweisen wie die der Gruppe I, was unter Umständen dazu führt, dass konstruktive Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Diese Beispiele sollen deutlich machen, dass jedes Konservierungskonzept eine Einzelfallentscheidung ist und von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt (*Abbildung 5-12*)!

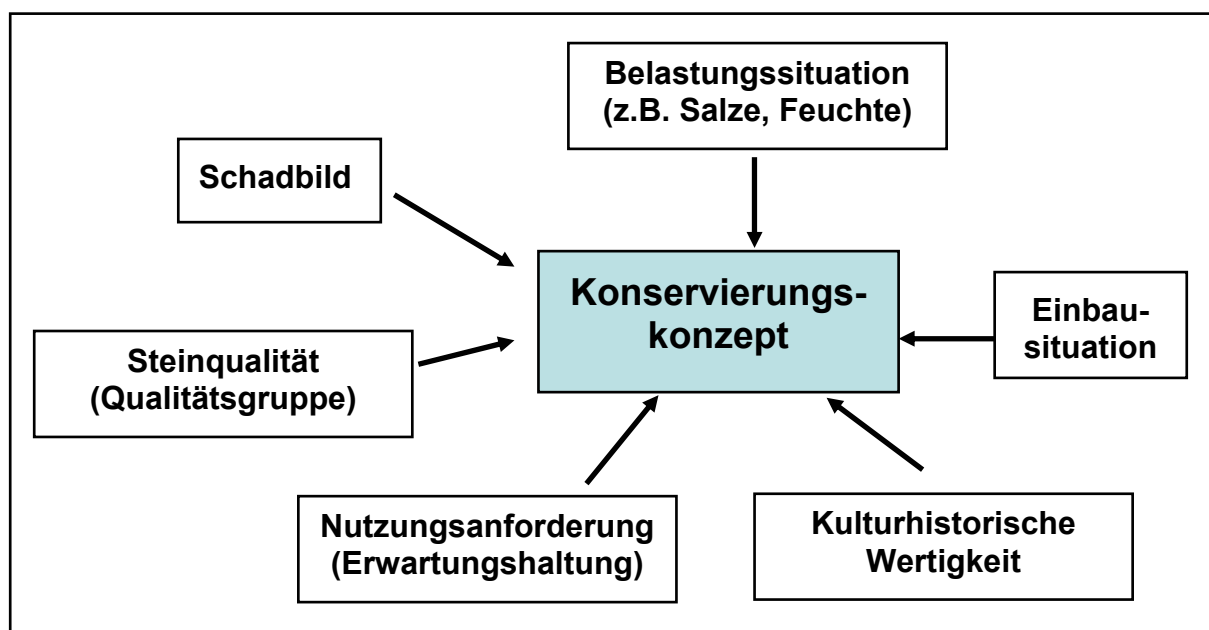


Abb. 5-12: Einflussfaktoren auf das Konservierungskonzept von Natursteinen

Dabei kommt dem Fernhalten von Feuchtigkeit, mehr noch als bei anderen Gesteinsarten, eine entscheidende Bedeutung zu. Ohne diesbezügliche flankierende Maßnahmen ist jede Konservierung an den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen mittelfristig zum Scheitern verurteilt!

6 Zusammenfassung

Lettenkeuper- und Schilfsandsteine, die in die geologischen Zeitabschnitte des Unteren bzw. Mittleren Keupers gehören, sind in Thüringen weit verbreitet und wurden seit dem Mittelalter bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts aufgrund ihrer feinkörnigen Ausbildung und der guten Bearbeitbarkeit als Bau- und Bildhauersteine geschätzt. Gegenwärtig werden diese Sandsteine in Thüringen nicht mehr abgebaut.

Entsprechend ihrer geologischen Verbreitung finden sich die Lettenkeupersandsteine überwiegend im Gebäudebestand des zentralen Thüringer Beckens, im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes und im Bereich der Grabfeldmulde. Die Schilfsandsteine gibt es im Stadtgebiet von Erfurt und südlich des Thüringer Waldes, ebenfalls in der Grabfeldmulde.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten 75 ehemalige Steinbrüche erkundet und beschrieben werden, bei denen es sich überwiegend um lokal bedeutsame Vorkommen handelte. Bei der Besichtigung der Steinbrüche stellte sich heraus, dass im Lettenkeupersandstein in lediglich 8 Vorkommen noch Teile der Bruchwände frei liegen. 24 Steinbrüche sind verfüllt oder verfallen, 35 Steinbrüche sind vollständig eingeebnet. Im Schilfsandstein sind 4 Steinbrüche in den Abbaugebieten Hindfeld-Milz und Streufdorf noch gut erhalten. 3 Brüche in Südthüringen und die ehemaligen Vorkommen in Erfurt sind eingeebnet bzw. überbaut.

Um die in Thüringen ehemals abgebauten Sandsteine charakterisieren zu können, wurden aus den zugänglichen Steinbrüchen Gesteinsproben für petrographische und technische Untersuchungen entnommen. Bei verfüllten oder verfallenen Steinbrüchen erfolgte eine Materialentnahme aus dem Gebäudebestand der jeweils umliegenden Ortschaften. Insgesamt wurden 39 verschiedene Lettenkeuper- und 6 Schilfsandsteine entnommen, wobei jedes Vorkommen in Thüringen vertreten ist. Für alle Sandsteine erfolgte eine qualitative petrographische Beschreibung anhand von Dünnschliffauswertungen. Feinmineralogische oder geologisch-diagenitische Bewertungen wurden nicht vorgenommen. Bei den technischen Untersuchungen kamen im Wesentlichen die für Natursteinprüfungen üblichen DIN-Verfahren mit einigen Anpassungen zur Anwendung.

Die Auswertung der Untersuchungen hat deutlich gemacht, dass es für die thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine eine Reihe von allgemeinen Merkmalen gibt, durch die sie charakterisiert werden können.

Es handelt sich überwiegend um glimmerreiche, feldspatführende Feinsandsteine mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenite). Die Einzelkörner sind in der Regel eckig (häufig mit spitzen Winkeln), ihre Sortierung ist mäßig bis gut.

Grünliche Minerale liegen meist in Form von alterierten, vergrünten Biotiten, seltener als Chlorite und nur in Einzelfällen als Glaukonite vor. Die Kornbindung erfolgt überwiegend durch tonig-ferritische und ferritische Kornhüllen und Zwickelfüllungen. Es gibt wenig direkte Kornkontakte, meist erfolgt eine mittelbare, mäßige Kornbindung über tonige Substanzen. Untergeordnet treten auch karbonatische, rein tonige Bindemittel oder kieselige Bindungen in Form von SiO_2 -Säumen auf.

Die Sandsteine besitzen eine relativ hohe Porosität, wobei die Poren vorwiegend als unregelmäßig geformte, isometrische, intergranulare Kapillarporen vorliegen. Häufig sind inhomogene, lagerhafte Ausbildungen von Porosität und Bindung vorzufinden.

Die technischen Eigenschaften sind neben der hohen Porosität durch überwiegend hohe Wasseraufnahmen und Wasseraufnahmekoeffizienten gekennzeichnet. Die Festigkeiten sind im Vergleich mit anderen triassischen oder kretazischen Sandsteinen eher gering. Bei Durchfeuchtung kommt es teilweise zu Festigkeitsverlusten bis zu 50 %.

Innerhalb dieser allgemeinen Merkmale gibt es Unterschiede zwischen den Sandsteinen, die eine Einordnung in Gefügegrundtypen bzw. Qualitätsgruppen mit verschiedenen technischen Eigenschaften zulässt. Es wurden folgende Qualitätsgruppen definiert:

Qualitätsgruppe I:

- höhere ferritische und / oder karbonatische Bindemittelanteile
- relativ enge Kornbindung, höhere Packungsdichte, geringere offene Porosität
- wenig ausgebildete Schichtung
- wenig Muskovit
- Gesamtporosität: 18 bis 23 V.-%
- atm. Wasseraufnahme: 6 bis 9 M.-%
- Wasseraufnahmekoeffizient: 2 bis 9 kg/m²h^{1/2}
- Druckfestigkeit: 47 bis 64 N/mm²
- Biegezugfestigkeit: 5 bis 7 N/mm²
- Statischer E-Modul: 11 bis 15 kN/mm²

Qualitätsgruppe II:

- häufig eine deutlich wechselhafte Ausbildung in den Bindemittelanteilen und in der Porositätsverteilung
- hoher Anteil an Muskovit, da dieser sich sehr häufig auf Schichtflächen befindet
- petrographische Einzelmerkmale sind in fließenden Übergängen mal mehr der Gruppe I oder der Gruppe III zuzuordnen
- Gesamtporosität: 23 bis 28 V.-%
- atm. Wasseraufnahme: 9 bis 12 M.-%
- Wasseraufnahmekoeffizient: 9 bis 16 kg/m²h^{1/2}
- Druckfestigkeit: 30 bis 47 N/mm²
- Biegezugfestigkeit: 3 bis 5 N/mm²
- Statischer E-Modul: 7 bis 11 kN/mm²

Qualitätsgruppe III:

- überwiegend toniges und tonig-glimmriges Bindemittel
- geringe Kornbindung, geringe Packungsdichte, hohe offene Porosität
- mittlerer Anteil an Muskovit
- Gesamtporosität: 28 bis 32 V.-%
- atm. Wasseraufnahme: 12 bis 15 M.-%
- Wasseraufnahmekoeffizient: 16 bis 23 kg/m²h^{1/2}
- Druckfestigkeit: 13 bis 30 N/mm²
- Biegezugfestigkeit: 1 bis 3 N/mm²
- Statischer E-Modul: 3 bis 7 kN/mm²

Zwischen den petrographischen Merkmalen und den technischen Eigenschaften lassen sich deutliche Abhängigkeiten und Zusammenhänge feststellen. Es gibt u.a. nahezu lineare Abhängigkeiten zwischen der Wasseraufnahme und der Festigkeit von der Porosität (hohe Porosität = hohe Wasseraufnahme = geringe Festigkeit und umgekehrt).

Die Korrelation einiger Eigenschaften macht es möglich, durch Ermittlung weniger Kenngrößen eine Bewertung und Zuordnung zu einer Qualitätsgruppe vorzunehmen. Bereits durch Bestimmung der Porosität oder der Wasseraufnahme und der Bestimmung nur eines Festigkeitskennwertes (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit oder E-Modul) kann der untersuchte Sandstein hinreichend sicher in eine Qualitätsgruppe eingeordnet werden. Die Beobachtung der Gefügemerkmale (z.B. Inhomogenitäten) gibt weitere Sicherheit bei der Zuordnung, insbesondere der Qualitätsgruppe II.

Andere Eigenschaften, wie z.B. die hygri-sche Wasseraufnahme oder die spezifische Oberfläche der Sandsteine lassen keine so deutlichen Zusammenhänge erkennen und sind daher für eine Zuordnung in Qualitätsgruppen weniger geeignet.

Die Zuordnung der Sandsteine in Qualitätsgruppen erlaubt eine Beurteilung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine zu unterschiedlichen Fragestellungen.

So konnte festgestellt werden, dass fast alle Sandsteine aus Südthüringen günstigere Eigenschaften aufweisen als die Mehrzahl der Proben aus dem Thüringer Becken. Entsprechend der Gliederung in die drei Qualitätsgruppen sind von den südthüringischen Sandsteinen nahezu 80 % der günstig zu beurteilenden Gruppe I zuzuordnen. Dagegen gehören von den Sandsteinen nördlich des Thüringer Waldes fast 75 % der Proben zu den Qualitätsgruppen II und III. Eine Erklärung für die überwiegend schlechtere Beschaffenheit der Sandsteine im zentralen Thüringer Becken könnte der Einfluss der sog. „Thüringischen Senke“ sein, die in der Trias hier existierte und die Auswirkungen auf die Ablagerungsverhältnisse hatte.

Die unterschiedlichen Qualitäten der Sandsteine spiegeln sich auch bei ihrer Verwendung im Gebäudebestand wider. Während die Steine als Mauersteine im verputzten Mauerwerk und in Kellergewölben im gesamten Verbreitungsgebiet häufig verbaut wurden, gibt es im Außenraum nördlich und südlich des Thüringer Waldes deutliche Unterschiede. Nördlich des Thüringer Waldes, insbesondere im Thüringer Becken, wurden die Sandsteine zwar verwendet, waren dann aber häufig durch Farbanstriche oder Schlämmen geschützt oder in untergeordneten Gebäuden verbaut. An wasserführenden Bauteilen oder als Sockelsteine kommen sie hier selten vor. Im thüringischen Grabfeld dagegen prägen die Sandsteine maßgeblich das Bild ganzer Ortschaften. Die Sandsteine wurden hier auch für Gesimse und Sohlbänke, sowie im Sockelbereich verwendet. Ihr Anteil an plastischen Bildwerken im Außenbereich ist ebenfalls größer.

Die Witterungsbeständigkeit der Lettenkeuper- und Schilfsandsteine Thüringens ist aufgrund des meist tonig-ferritischen Bindemittels und der eher mäßigen Kornbindung überwiegend als schlecht zu bezeichnen. Die Anfälligkeit gegenüber hygri-schen und thermischen Längenänderungen führt häufig zur Ausbildung von Mikrokluft und Rissbildungen bei der Verwitterung. Als Schadbilder finden sich vorrangig Absandungen, Abschuppungen und oberflächenparallele Schalenbildungen. Beim Verwitterungsverhalten gibt es innerhalb eines engen Spektrums ebenfalls Abhängigkeiten von der Qualität der Sandsteine.

Die Einbausituation spielt für die Witterungsbeständigkeit eine deutlich größere Rolle als die Exposition. Generell kann man sagen, dass überall, wo Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum hinweg wirksam werden kann oder wo häufig wechselfeuchte Zustände vorliegen, Schäden an den Sandsteinen auftreten.

Die Sandsteine nördlich und südlich des Thüringer Waldes weisen beim Verwitterungsverhalten Unterschiede auf. Dabei gleichen sich die Schadbilder, es gibt aber Unterschiede hinsichtlich deren Häufigkeit und der Verwitterungsgeschwindigkeit. Absandungen und Abschuppungen kommen nördlich des Thüringer Waldes wesentlich häufiger vor als an den Sandsteinen Südthüringens, bei diesen bleiben Formen und Bearbeitungsspuren länger erhalten. Diese Unterschiede haben ihre Ursache in der unterschiedlichen Qualität der Sandsteine.

Es konnte festgestellt werden, dass es zwischen den thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen keine signifikanten petrographischen oder technischen Unterschiede gibt.

Die Konservierung der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine bereitet wegen des geringen Anteils an unmittelbaren Kornbindungen und der relativ niedrigen Festigkeiten häufig Schwierigkeiten. Bedingt durch die hohe und wechselhafte Porosität und verschiedenartige Inhomogenitäten im Gesteinsaufbau kommt es zu Behinderungen bei der Aufnahme von Konservierungsmitteln. Die auftretenden Schadbilder erfordern unterschiedliche Maßnahmen, so dass mit nur einer Technologie in der Regel keine erfolgreiche Konservierung durchgeführt werden kann.

Durch umfangreiche Nachuntersuchungen an konservierten Denkmälern, Auswertungen von bisherigen Laboruntersuchungen und eigenen Versuchen zur Festigung der Sandsteine konnten Lösungsansätze für ihre Konservierung gefunden werden.

Bei der Festigung der Sandsteine wurden gute Ergebnisse mit niedrigmolekularen, lösemittelfreien Kieselsäureestern erzielt, deren Gelabscheidungsrate auf max. 20 % begrenzt ist. Die Zugabe von elastifizierenden oder hydrophobierenden Komponenten hat sich nicht bewährt.

Die Festigung mit Epoxidharzlösungen ist möglich, wenn die Wirkstoffgehalte auf ca. 20 % Harzanteil begrenzt werden. Durch die Toxizität der Lösungsmittel ist der Einsatz problematisch. In Hinblick auf eventuelle Chromatographieeffekte sollten weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Bei der Applikation sind in der Regel aufbauende Festigungen in zwei bis maximal drei Festigungszyklen notwendig, um ausreichende Eindringtiefen zu erzielen. Eine Optimierung der Applikationsverfahren ist erforderlich.

Ergänzende Konservierungsmethoden, wie die Riss- und Schalensicherung und die Fixierung von Abblätterungen, wurden nicht untersucht, diesbezügliche Erfahrungen jedoch vorgestellt.

Bei den Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen kommt dem Fernhalten von Feuchtigkeit, eine entscheidende Bedeutung zu. Dazu gehören Sperrmaßnahmen gegen Bodenfeuchte ebenso wie konstruktive Schutzmaßnahmen (z.B. Gesims- und Sohlbankabblöchungen). Aber auch die bis zum 19. Jahrhundert praktizierte Oberflächenbeschichtung der Steine (wasserabweisende, diffusionsoffene Anstriche oder Schlämmen) sind ein probates Mittel für den Bestandsschutz.

Die Möglichkeiten der Konservierung werden bestimmt von den jeweils vorliegenden Steinqualitäten, Schadbildern, Belastungs- und Einbausituationen und letztendlich auch der Wertigkeit und beabsichtigten Nutzung des Objektes. Damit wird deutlich dass jedes Konservierungskonzept Fachkompetenz erfordert und immer eine Einzelfallentscheidung ist!

7 Literatur- und Quellennachweis

- ALFES, C., BREIT, W., SCHIESSEL, P. (1992): Eindringhärte - Grundlagen und Anwendung für Festigkeitsprofile an verwitterten Natursteinen. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 2-1990, S. 219 – 225, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- BANKERT, A. (1990): Restaurierung der Vierjahreszeitengruppe im Barockgarten der Creuzburg, Putto "Flötenspieler". Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH für Werbung und Gestaltung Berlin.
- BERBIG, T. (2005): Unveröffentlichter Arbeitsbericht zu Probeflächen an den Arkaden der Schlossanlage Friedenstein in Gotha, FH Erfurt, FB Restaurierung.
- BERGMANN, S. (1998): Restaurierung der Vierjahreszeitengruppe im Barockgarten der Creuzburg, Putto "Tänzerin mit Mantel". Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH Erfurt, FB Restaurierung.
- BEUTLER, G., HAUSCHKE, N., NITSCH, E. (1999): Faziesentwicklung des Keupers im Germanischen Becken. In: Trias - Eine ganz andere Welt, S. 129-174, N. H. V. W. (Hrsg.), Verlag Friedrich Pfeil, München.
- BEUTLER, G., SCHUBERT, J. (1987): Fazielle Entwicklung des Mittleren Lettenkeupers im Thüringer Becken, In: Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 15 (4), S. 475-484.
- BRUCKSCHEIN, P., SCHRÖDER, B. (1994): Unterer Keuper (Lettenkeuper) östlich der Rhön - Kartierungsstratigraphie und regionale Korrelation. In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, S. 145 (2), S. 318-324.
- BOHRMANN, R. (1988): Untersuchungen zum Verwitterungsverhalten von Bausteinen am Beispiel des Schilfsandsteins. Diplomarbeit am Institut für Sedimentforschung im Fachbereich Geologie der Universität Heidelberg.
- BÖTTGER, K.G., KNÖFEL, D. (1999): Schlämmen für historische Ziegelmauerwerke. In: Farbe in der Steinrestaurierung, 2. Workshop des Institut für Bauchemie Leipzig e.V., S. 81-96, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- BOOS, M. (1999): Möglichkeiten und Grenzen der Steinfestigung im Kieselsäureester-System. Einsatzmöglichkeiten elastifizierter Kieselsäureestertypen, 5. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen „MSR '99“, Aedificatio Publishers, Freiburg, Esslingen, S. 39-41
- DIN 52100-2: Prüfung von Naturstein - Gesteinskundliche Untersuchungen - Allgemeines und Übersicht, Juni 2007
- DIN 52102: Bestimmung von Dichte, Trockenrohddichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität, August 1988
- DIN 52103: Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert, Oktober 1988
- DIN 52104: Teil 1: Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Verfahren A bis Q, November 1982
- DIN 52105: Prüfung von Naturstein-Druckversuch, August 1988
- DIN 52112: Prüfung von Naturstein-Biegeversuch, August 1988
- DIN 52008: Prüfverfahren für Naturstein-Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit, März 2006
- DIN 52450: Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern, August 1985
- DIN 52615: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, November 1987

- DIN 66133: Bestimmung der Porenvolumenverteilung und der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion, Juni 1993
- DIN EN 14580: Prüfverfahren für Naturstein, Bestimmung des statischen Elastizitätsmoduls, November 2002
- DIN EN 1925: Bestimmung der Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung, Mai 1999
- DKS (2005): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. D. S. Kommission, Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, S. 1-296.
- DOCKTER, J. (1995): Keuper. Geologie von Thüringen, S. 332-362, G. Seidel, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- DOCKTER, J., LANGBEIN, R. (2003): Keuper. In: Geologie von Thüringen, S.332-362, G.Seidel, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- DOCKTER, J., SCHUBERT, J.,(2005): Der Keuper im Thüringer Becken und im Thüringischen Grabfeld. In: Stratigraphie von Deutschland IV – Keuper , S.192 – 202, D.S. Kommission, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- ETTL, H., SCHUH, H. (1992): Untersuchungsbericht Veste Heldburg, Naturwissenschaftliche Untersuchungen zum Sandstein. Unveröffentlichtes Gutachten, München.
- ETTL, H., SCHUH, H. (1993): Untersuchungsbericht Kloster Birkenfeld, Konzeption und Untersuchung von Hinterfüllmassen. Unveröffentlichtes Gutachten, München.
- FELIX, C., QUEISSER, A. (1999): Lineare Deformation von Sand- und Kalksteinen in Folge von Flüssigkeitsaufnahmen. In: 5. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen, Esslingen 1999, Tagungsband, S. 1549-59.
- FILBAUER, ECKERMANN, BROKMANN (2005): Klimastabilisierung in temporär genutzten Gebäuden zum Zwecke des Bautenschutzes und zur Verbesserung der Nutzbarkeit. DBU-Förderprojekt AZ 20-879.
- FINDEISEN, H., WÖLKE, M. (2003): Schlossbrücke zu Herbsleben - Bauzustandsbewertung und Sanierungskonzept, Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH Erfurt, FB Bauingenieurwesen.
- FISCHER, C. (1999): Dünnschliffauswertung Nr. 4834-01 und 5629-0. In: Natursteinkataster Thüringen, Unveröffentlichte Untersuchungen und Qualifikationsarbeiten der Bauhausuniversität Weimar.
- GRASSEGG, G., BOHRMANN, R., HÄBERL, K. (1990): Die Schilfsandsteine Baden-Württembergs, Teile I: Technische Eigenschaften. In Bautenschutz+Bausanierung, Jahrgang 13, S. 53-55.
- GRÄBE, R. (1978): Kartei der historischen Werksteinbrüche Thüringens. Unveröffentlichte Berichte des Instituts für Denkmalpflege Erfurt.
- GRIMM, W.-D. (1990): Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der BRD. In: Arbeitsheft Nr. 50, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege. München.
- GRUNERT, S. (2007): Cottaer und Postaer Elbsandstein - technisch-petrographische Grundlagen und Differenzierungen. In: Elbsandstein S. 13-22, H. Siedel, C. Franzen and S. Weise. Institut für Diagnostik und Konservierung IfD e.V. Dresden.
- HAUCH-RESTAURIERUNGEN (2005): Unveröffentlichter Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung an der Wappentafel des Grafen Wolfgang in der Johanniskirche zu Schleusingen.
- HELLMANN, A. (1866): Die Petrefacten Thüringens nach dem Materiale des Herzogl. Naturalien-Kabinetts in Gotha. Cassel.

- HENKEL, G. (1980): Restaurierte Kunstwerke in der DDR: Buch zur Ausstellung im Alten Museum zu Berlin, April-Juni 1980, Verband Bildender Künstler der DDR.
- HEßLAND, A. (1991): Epoxidharze und ihre Eignung für den Bautenschutz. Aachen, Dissertation RWTH Aachen.
- HILBERT, G., BOOS, M., ENGEL, J. (2004): Steinfestiger - Steuerung von Gelabscheidungsraten und Eindringtiefen. In: Denkmal-news, Fachinformationen der Fa. REMMERS.
- HILBERT, G., WENDLER, E. (1995): Zielgerechte Natursteinkonservierung: Zur Reduzierung des hygrischen Quellens. In: Bautenschutz-Bausanierung 18(3), S. 60, 62-64.
- HOFFMANN, N. (1999): Modifizierte Epoxidharze für die Anwendung in der Natursteinsanierung. Aachen, Dissertation, TH Aachen.
- HOFFMANN, N., HÖCKER, H. (1998): Molekulare Änderungen und ihre makroskopischen Folgen -Die Entwicklung eines Steinschutzstoffes auf Epoxidharzbasis. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 6, 1994/96, S. 45-53, Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.
- HONSINGER, D. (1991): Das "Aachener Konzept" zur stabilisierenden und schützenden Imprägnierung von Sandsteinen. In: Denkmalpflege und Naturwissenschaft im Gespräch - Workshop in Fulda 1990. Fulda 1991.
- HOPP, H. (1994): Untersuchungen zur Festigung von Sandsteinen des Mittleren und Unteren Keupers im Gewölbekeller der Krämerbrücke 19 in Erfurt, Unveröffentlichter Untersuchungsbericht für die Stadtverwaltung Erfurt.
- HOPP, H. (1995): Untersuchung zur Festigung von Sandsteinen des Mittleren und Unteren Keupers im Gewölbekeller der Musikschule Erfurt (Turniergasse), Unveröffentlichter Untersuchungsbericht für die Stadtverwaltung Erfurt.
- HOPP, H. (1999): Untersuchung der Epitaphen der "Grablege der Henneberger" in der Ägidienkapelle der Johanniskirche zu Schleusingen, Unveröffentlichter Untersuchungsbericht für das Thüringische Landesamt für Denkmalpflege.
- HOPP, H. (2000): Untersuchung und Kartierung der Bausteine des Westgiebels der Alten Synagoge in Erfurt, Unveröffentlichter Untersuchungsbericht für die Stadtverwaltung Erfurt.
- HOPP, H., ZIER, H. W. (2005): Schloss Friedenstein in Gotha - Entwicklung einer Konservierungsstrategie für umweltgeschädigte Werksteine aus Lettenkeupersandstein. In: Stein - Zerfall und Konservierung, S. 256-260, S. Siegesmund, M. Auras und R. Snethlage (Hrsg.), Edition Leipzig.
- HOPP, H., ZIER, H. W. (2008): Erarbeitung und Erprobung einer Sanierungstechnologie für umweltgeschädigte Bauteile aus Lettenkohlsandstein am Beispiel der Arkaden des Schlosses Friedenstein in Gotha, Abschlussbericht des DBU-Förderprojektes AZ 22296-25.
- HOPPE, W. (1939): In: Vorkommen und Beschaffenheit der Werk- und Dekorationssteine in Thüringen. Berlin, Union Deutsche Verlagsgesellschaft Roth & Co., Berlin.
- IBACH, W., IBACH, K. (2005): Grenzen und Möglichkeiten der Vollkonservierung von Naturwerksteinen. In: Stein - Zerfall und Konservierung, S. 122-125, S. Siegesmund, M. Auras und R. Snethlage, Edition Leipzig.
- IBACH, W., SOBOTT, R. (2007): Vollkonservierung von Cottaer Sandstein, In: Elbsandstein, S. 113-119, H. Siedel, C. Franzen und S. Weise. Dresden, Institut für Diagnostik und Konservierung IfD e.V.

- KAISER, E. (1999): Dünnschichtige Schlämme auf originalen Oberflächen mit kieselol-gebundenen Massen. In: Farbe in der Steinrestaurierung, 2. Workshop des Institut für Bauchemie Leipzig e.V., S. 49-56, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- KAISER, E., NAUMANN, E. (1905): Geologische Karte von Preußen, Blatt Langensalza, mit Erläuterungen. Berlin.
- KÄSTNER, H. (1972): Versuch einer zyklischen Gliederung des Unteren Keupers im Thüringer Becken auf Grund neuerer stratigraphischer Beobachtungen. In: Geologie, 21, S. 838-844.
- KATZSCHMANN, L. (1989): Vorkommen, Verwitterung und Beständigkeit von Naturwerkstein in innerstädtischen Bereichen der Kreisstädte des Bezirkes Erfurt, Dissertation, HAB Weimar.
- KATZSCHMANN, L., ASELMAYER, G., AURAS, M. (2006): Natursteinkataster Thüringen. In: Bericht Nr. 23 - 2006 des Instituts für Steinkonservierung e.V., Mainz, S. 153-156.
- KATZSCHMANN, L., LEPPER, J. (1999): Naturwerksteine der Germanischen Trias. In: Trias-Eine ganz andere Welt, S. 429-447, N. H. V. W. (Hrsg.). Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München.
- KEMPKES, R. (2005): Einfluss verschiedener Konservierungsmittel auf die hygri-sche Dehnung eines tonmineralhaltigen Sandsteins, Diplomarbeit an der HAWK Hildesheim, Fachbereich Restaurierung.
- KEßLER, T. (2000): Untersuchung des Einflusses von quellmindernden Stoffen in Kombination mit Hydrophobierung auf das Quellverhalten des Lettenkohlen-sandsteins, Diplomarbeit, Georg-August-Universität, Göttingen.
- KLAUA, D. (1969): Sedimentpetrographische Untersuchungen der Rätsandsteine Thüringens. In: Geologie, 18, S. 1-82.
- KLAUA, D. (1990): Petrographisches Gutachten von Sandsteinproben der Creuzburg, Untersuchungsbericht der Geologischen Landesuntersuchung GmbH, Jena.
- KLAUA, D. (1992): Petrographisches Gutachten von Sandsteinproben der Heldburg, Untersuchungsbericht der Geologischen Landesuntersuchung GmbH, Jena.
- KRÜGELSTEIN, F. (1844): Nachrichten von der Stadt Ohrdruff und deren nächsten Umgegend.
- KÜHNE, H. T. (1862): Beiträge zur Geschichte der Entwicklung der socialen Zustände der Stadt und des Herzogtums Gotha während des letzten Jahrhunderts.
- LANG, S. (1978): Kreuztragung aus einer Folge von 14 Kreuzwegstationen. In: Restaurierte Kunstwerke in der DDR, S. 170, Hrsg. Ministerium für Kultur, Verband Bildender Künstler der DDR, 1979, Berlin.
- LITTMANN, K., RIECKEN, B., SASSE, H-R. (1998): Steinschutzstoffe nach dem Aachener Konzept. In: Natursteinkonservierung II, S. 207-226, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- LEUNA (2006): Datenblatt Epilox® T 19-32, www.leuna-harze.de
- LOS, A. (2000): Beitrag zur Instandsetzung des Gewölbekellers im Naturkundemuseum Erfurt, Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH Erfurt, FB Bauingenieurwesen.
- LUDWIG, S. (1989): Herkunft, Verarbeitung und Verwitterung von Keuper-Werksteinen in Baudenkmälen Baden-Württembergs. Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Universität Tübingen.
- MÄDLER, J. (1998): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Thüringen, Blatt Erfurt W, Nr. 5031. Weimar.

- MEINHARDT-DEGEN, J. (2005): Geologisch-mineralogische und materialtechnische Untersuchungen zur Risikoabschätzung von Folgekonservierungen bei Sandsteinen am Beispiel von Regensburger Grünsandstein und Grünem Mainsandstein. Ludwig-Maximilians-Universität, Fakultät für Geowissenschaften. München.
- MEINHARDT-DEGEN, J., SNETHLAGE, R., HESTERMANN, M., TUCIC, V. (2003): Evaluierung von Schutzmaßnahmen an umweltgeschädigten Denkmälern aus Naturstein am Beispiel Alte Pinakothek in München und Schloss Schillingsfürst in Franken (Bayern). In: Abschlussbericht des DBU Projektes AZ 17619, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege. München.
- MEISEL, U. (1988): Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin.
- MÖLLER, U., SCHUH, H., WENDLER, E. (1992): Längenänderungsverhalten hydrophobierter Sandsteine. In: Bautenschutz und Bausanierung, 4.
- NAUMANN, E. (1904): Geologische Karte von Preußen, Blatt Mihla, mit Erläuterungen. Berlin.
- NAUMANN, E. (1905): Geologische Karte von Preußen, Blatt Henningsleben, mit Erläuterungen. Berlin.
- NAUMANN, E. (1910): Beitrag zur Gliederung des mittleren Keupers im nördlichen Thüringen. In: Jahrbuch der königlich Preussischen Geologischen Landes-Anstalt, 28 (3) (1907), S. 549-580.
- NAUMANN, E. (1915): Zur Gliederung des Unteren Keupers in Thüringen. In: Jahrbuch der Preussischen Geologischen Landes-Anstalt, 35, S. 292-310.
- NÜTHEN-RESTAURIERUNGEN (2005): Unveröffentlichter Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung an der Grablege der Henneberger Grafen in der Johanniskirche zu Schleusingen.
- OCHSENFARTH-RESTAURIERUNGEN (1998): Unveröffentlichter Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung am Hauptbahnhof in Eisenach.
- PAETZKE, W. (2007): St. Matthäuskirche in Melle, Restaurierung der Außenfassade. In: DBU-Abschlussbericht des Förderprojektes AZ21859-45: Modellvorhaben zur Beseitigung von umweltbedingten Schäden am Schilfsandstein der Matthäuskirche in Melle, S. 37-54, E. Stadlbauer and R. Niemeyer.
- PATZELT, S. (1995): Ermittlung der gesteintechnischen Kenndaten und des Verwitterungsverhaltens für ausgewählte Sandsteine Thüringens, Fachstudienbeleg der Fakultät Bauingenieurwesen, HAB Weimar.
- PATZELT, S. (1996): Sandsteine des Unteren und Mittleren Keupers in Thüringen - Eigenschaften, Verwitterungsverhalten und Konservierungsmöglichkeiten, Diplomarbeit, HAB Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen.
- PFEFFERKORN, S. (1998): Auswertung von Untersuchungen mit dem Bohrhärte-Prüfgerät an Gesteinen mit makroskopisch inhomogenem Gefüge. In: Snethlage, R. (Hrsg.), Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 6, S. 105-112, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart.
- POSCHLOD, K. (1990): Das Wasser im Porenraum kristalliner Naturwerksteine und sein Einfluß auf die Verwitterung. In: Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, S. 18-41, Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München.
- PRÖSCHOLDT, H. (1888): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Themar, mit Erläuterungen. Berlin.
- PRÖSCHOLDT, H., THÜRACH, H. (1895): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Römhild, mit Erläuterungen. Berlin.

- PUTZER, H. (1938): Die Rhät- und Liasablagerungen am Seeberg bei Gotha, am Röhnbergrücken und bei Eisenach. In: Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften 71, Neue Folge 64, S. 327-444
- REINSCH, D. (1991): In: Natursteinkunde, S.263-277, Enke Verlag. Stuttgart.
- REMMERS (2007a):Funcosil® Steinfestiger 300 E, Techn. Merkblatt Artikelnummer 0714, www.remmers.de.
- REMMERS (2007b):Funcosil® Steinfestiger 100, Techn. Merkblatt Artikelnummer 0719, www.remmers.de.
- REMMERS (2007c):Funcosil® Steinfestiger 300, Techn. Merkblatt Artikelnummer 0720, www.remmers.de.
- RICHTER, G. (1936): Der Sedimentationsraum des unteren Keupers zwischen Harz und Thüringer Wald. In: Festschrift für Hans Stille, S. 116-136, Enke Verlag. Stuttgart.
- RICHTER, N. (1992): Restaurierung des plastischen Bildwerks: Kreuzwegstation Nr. 13 des Kreuzweges von Wolfmannshausen, Unveröffentlichte Abschlussarbeit der Fachhochschule Hildesheim, Studiengang Restaurierung.
- ROBACK, C. A. (1840): Ausführliche geographisch-statistisch-topographische Beschreibung des Regierungsbezirks Erfurt.
- RÖHL, S. (1990): Restaurierung des plastischen Bildwerks: Kreuzwegstation Nr. 10 des Kreuzweges von Wolfmannshausen, In: Unveröffentlichte Fachschulabschlussarbeit der Fachschule für Werbung und Gestaltung Berlin, Abteilung Restaurierung. Berlin.
- RUEDERICH, J., KIRCHNER, D., SEIDEL, M., SIEGESMUND, S. (2005): Beanspruchung von Naturwerksteinen durch Salz- und Eiskristallisation im Porenraum sowie hygische Dehnungsvorgänge. In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 156 (1), S. 59-73. Stuttgart.
- SATTLER, L., SNETHLAGE, R. (1995): Der Einsatz von Kieselsäureester zur Sandsteinfestigung. In: Natursteinkonservierung I, S. 89-104, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- SATTLER, L., WENDLER, E. (2005): Zur Hydrophobierung von Naturstein. In: Stein - Zerfall und Konservierung, S. 118-121, S. Siegesmund, M. Auras and R. Snethlage, Edition Leipzig.
- SCHÄFER, H. F. (1918): Rhät und Lias vom Gr. Seeberg bei Gotha und im Flußbett der Apfelstädt bei Wechmar. In: Zeitschrift für die gesamten Naturwissenschaften, 86, S. 345-377.
- SCHEIDEMANN, S. (1985): Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung der Station I des Kreuzweges in Wolfmannshausen (Thüringen), Unveröffentlichter Restaurierungsbericht. Friedrichroda.
- SCHEIDEMANN, S. (1989): Restaurierung der Vierjahreszeitengruppe im Barockgarten der Creuzburg, Putto "Herbst", Unveröffentlichter Restaurierungsbericht. Friedrichroda.
- SCHEIDEMANN, S. (1994): Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung an der Hospitalkapelle in Bad Tennstedt, Unveröffentlichte Steinkonservatorische Stellungnahme. Friedrichroda.
- SCHEIDEMANN, S. (1997): Bauprotokolle der Restaurierungsarbeiten am Herrenerker der Veste Heldburg.
- SCHEIDEMANN, S. (2000): Bauprotokolle der Restaurierungsarbeiten am Frauenerker der Veste Heldburg.
- SCHIECKE-RESTAURIERUNGEN (2000): Unveröffentlichter Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung an der Kirche in Großballhausen.

- SCHIECKE-RESTAURIERUNGEN (2003): Unveröffentlichter Restaurierungsbericht zur Steinrestaurierung am Wappen der Kirche in Streufdorf.
- SCHMID, E. E. (1864): Die Gliederung der oberen Trias nach den Aufschlüssen im Salzsacht auf dem Johannisfelde bei Erfurt. In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 16, S. 145-154.
- SCHMID, E. E. (1872): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Buttstedt, mit Erläuterungen. Berlin.
- SCHMID, E. E. (1873): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Cölleda, mit Erläuterungen. Berlin.
- SCHMID, E. E. (1874): Über den unteren Keuper des östlichen Thüringens. Abhandlungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, 1. In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 16, S. 175.
- SCHMID, E. E. (1885): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Osthausen, mit Erläuterungen. Berlin.
- SCHMID, E. E., ZIMMERMANN, E. (1889): Geologische Spezialkarte von Preussen, Blatt Neudietendorf, mit Erläuterungen. Berlin.
- SCHNEIDER, U. (1993): Polymeranalytische Untersuchungen zur Beurteilung der Eignung von Copolymeren mit funktionalisierten Methacrylat-Bausteinen für die Naturstein-Imprägnierung. Dissertation, RWTH Aachen.
- SCHNEIDER, U., WAGENER, S., HÖCKER, H. (1994): Von der Idee bis zur Anwendung-Die Evolution von Tränksstoffsystemen auf Basis von Methacrylaten. In: Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung, S. 117-125, Band 4, 1992, Ernst & Sohn. Berlin.
- SCHRÖDER, B. (2002): Geologische Karte von Thüringen, Blatt Römhild, Nr. 5629, mit Erläuterungen. Weimar.
- SCHRÖDER, E. (1938): Zur Gliederung des mittleren Keupers in der Thüringer Mulde. In: Beiträge zur Geologie von Thüringen, 5, S. 34-41.
- SCHUBERT, J. (2003): Über den Schilfsandstein von Arnstadt in Thüringen (Thüringer Becken). In: Beiträge zur Geologie von Thüringen, Neue Folge 10, S. 111-134.
- SCHUH, H. (1987): Physikalische Eigenschaften von Sandsteinen und ihrer verwitterten Oberflächen. In: Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, S. 17-32, Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München.
- SEELING, M. (2002): Sedimentäre Entwicklung in einem proximalen Ablagerungsraum: Der Trias/Jura-Grenzbereich am großen Seeberg in Thüringen. In: Beiträge zur Geologie von Thüringen, Neue Folge 10, S. 143-158.
- SEELING, M., KELLNER, A. (2002): Sequenzstratigraphie des Nor und Rhät im Nordwestdeutschen Becken unter Berücksichtigung Süddeutschlands. In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 153, S. 93-114.
- SEIFERT, F. (1998): Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse an Steinerergänzungsmörteln am Objekt Horn gasse 3 in Erfurt. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht der MFPA Weimar.
- SEIFERT, F., ZIER, H.-W. (2001): Zusammenfassende Darstellung zum Stand der Entwicklung des acrylatdispersionsgebundenen Steinerergänzungssystems. In : Arbeitsheft des Thüringischen Landesamtes für Denkmalpflege, Neue Folge 1, Seiten: 29 – 59, Erfurt.
- SEIPP, H. (1935): Über die Bausteine der Burg Gleichen. Mitteilungen des Geschichtsvereins 50, S. 43-52. Erfurt.

- SNETHLAGE, R. (2008): Leitfaden Steinkonservierung – Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein, Frauenhofer IRB Verlag. Stuttgart.
- SNETHLAGE, R., AURAS, M., LEISEN, H. (1995): Kloster Birkenfeld. In: Natursteinkonservierung I, S. 277-339, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- SNETHLAGE, R., LEISEN H., SATTLER, L., WENDLER, E. (1995): Schloss Schillingsfürst. In: Natursteinkonservierung I, S. 223-275, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- SNETHLAGE, R., MEINHARDT-DEGEN, J. (2006): Festigung und Hydrophobierung von Sandsteinen - Welche Risiken müssen bei der Behandlung vermieden werden? In: Praxisorientierte Forschung in der Denkmalpflege-10 Jahre IDK, S. 57-66.
- SNETHLAGE, R., WENDLER, E. (1995): Methoden der Steinkonservierung - Anforderungen und Bewertungskriterien. In: Natursteinkonservierung I, S. 3-40, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- SOBOTT, R. (2006): Oberflächenschutz von Naturstein durch silikonharzgebundene Steinschlämmen an den Beispielen der St. Benno-Kirche in Meißen und des Naumburger Doms. In: Praxisorientierte Forschung in der Denkmalpflege-10 Jahre IDK, S. 67-74.
- SPEYER, O. (1883a): Geologische Karte von Preußen, Blatt Gebesee, mit Erläuterungen. Berlin.
- SPEYER, O. (1883b): Geologische Karte von Preußen, Blatt Andisleben, mit Erläuterungen. Berlin.
- STADLBAUER, E., NIEMEYER, R. (2007): Modellvorhaben zur Beseitigung von umweltbedingten Schäden am Schilfsandstein der Matthäuskirche in Melle. Abschlussbericht des DBU-Förderprojektes AZ 21859-45.
- STAEMMLER, T., SCHEIDEMANN, S. (1995): Probeachse zu Konservierungsmaßnahmen am Herrenerker der Veste Heldburg - Auswertung von Konservierungsmaßnahmen. Unveröffentlichter Bericht für das Thüringische Landesamt für Denkmalpflege, Erfurt.
- THÜRACH, H. (1888/89): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleich zu den benachbarten Gegenden. In: Geognostische Jahreshefte: 1: S. 75-162, 2: S. 1-90.
- VIOL, M., GERHARD-ABOZARI, E., HÖCKER, H. (1998): Die chemische Beständigkeit eines Steinschutzstoffs auf Polyurethanbasis in der künstlichen Bewitterung. In: Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung, Band 6, 1994/96, S. 75-82, Frauenhofer IRB Verlag. Stuttgart.
- VISSER, H., GERVAIS, A. (2007): Gesteins- und materialkundliche Kenndaten. In: DBU-Abschlussbericht des Förderprojektes AZ21859-45: Modellvorhaben zur Beseitigung von umweltbedingten Schäden am Schilfsandstein der Matthäuskirche in Melle, S. 8-27, E. Stadlbauer and R. Niemeyer.
- WEISE, G. (2002): Mineralische Rohstoffe und ihre Nutzung im Kreis Gotha. Weimar, Materialforschungs- und Prüfanstalt Weimar.
- WEIß, B. (1990): Ausbildung und Eignung der Steine- und Erdenrohstoffe Südthüringens (Bezirk Suhl), HAB Weimar.
- WEISS, G. (1992): Die Eis- und Salzkristallisation im Porenraum von Sandsteinen und ihre Auswirkungen auf das Gefüge unter Berücksichtigung gesteinspezifischer Parameter. In: Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München. 9.

- WENDLER, E. (1991): Zum Mechanismus der Schalenbildung bei tonigen Sandsteinen. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 1, 1989, S. 71-76, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- WENDLER, E., HILBERT, G. (2006): Schalenbildung bei Naturstein: Mechanismen ihrer Entstehung sowie Möglichkeiten und Grenzen der Konsolidierung. In: Praxisorientierte Forschung in der Denkmalpflege-10 Jahre IDK, S. 75-82.
- WENDLER, E., SATTLER, L. (1993): Anlage einer Musterfläche zur Steinkonservierung am Schloss Schillingsfürst. Teil 2: Applikation und Erfolgskontrolle. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 3-1991, S. 133-139, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- WENDLER, E., SATTLER, L. (1996): Bohrwiderstandsmessung als zerstörungsarmes Prüfverfahren. In: Wittmann & Gerdes (Hrsg.), Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen, Band 1., S. 145-159, Freiburg
- WESSELS, M., GROBE, J. (1995): Untersuchungen zur Hydrophobierung von Sander Schilfsandsteinen mit Mischungen aus Alkyltriethoxysilanen. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 5, 1993, S. 77-82, Verlag Ernst & Sohn. Berlin.
- WESTENBERGER, M. (1999): Schilf- und Lettenkohlsandsteine - Kennwerte, Schadensmechanismen, Konservierungsmöglichkeiten. Erfurt, Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH Erfurt, FB Bauingenieurwesen.
- WOLKE, A. (1999): Schutz von Natursteinoberflächen vor Umweltschäden durch die Applikation elastischer Kieselsäureester auf Basis von Alkoxyalkyl- und Carboxyalkylsilanen, Dissertation.
- ZEINE, J., GROBE, J. (1998): Ethersubstituierte Triethoxy- und Diethoxymethylsilane - Vorstufen für hydrophyle, elastifizierte Festiger. In: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 6, 1994/96, S. 39-43, Frauenhofer IRB Verlag. Stuttgart.
- ZIER, H.-W. (2005): Entwicklung und Erprobung von Mörtelrezepturen, Teil I, Forschungsbericht Nr. F 82/005-05 der MFPA Weimar.
- ZIER, H.-W. (2006): Entwicklung und Erprobung von Mörtelrezepturen, Teil II, Forschungsbericht Nr. F 17/005-06 der MFPA Weimar.
- ZIER, H.-W. (2008): Nachuntersuchungen an Probeflächen im Bereich der südlichen Arkaden des Schlosses Friedenstein in Gotha, Untersuchungsbericht Nr. B 17.08.004.01 der MFPA Weimar.

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 2-1: Stratigraphische Gliederung des Unteren Keupers (Erfurt-Formation) in Thüringen mit Kennzeichnung der Sandsteinhorizonte	4
Tab. 2-2: Stratigraphische Gliederung des Mittleren und Oberen Keupers in Thüringen mit Kennzeichnung des Schilfsandsteinhorizontes	6
Tab. 2-3: Steinbrüche im Lettenkeupersandstein	17
Tab. 2-4: Steinbrüche im Schilfsandstein	18
Tab. 3-1: Technische Eigenschaften von Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen Deutschlands	21
Tab. 3-2: Verzeichnis und Herkunft des Probematerials	23
Tab. 3-3: Angewandte Untersuchungen, Prüfverfahren, Art und Anzahl der Proben	24
Tab. 3-4: Beschreibung der Sandsteine und einiger Eigenschaften, die auf mechanische Kennwerte Einfluss haben können	26
Tab. 3-5: Wasseraufnahmen, Sättigungswerte und kapillare Wasseraufnahme- Koeffizienten der Proben	35
Tab. 3-6: Hygroskopische Wasseraufnahme, hygrische Dehnung und Wasserdampf- diffusionswiderstandszahl der Proben	41
Tab. 3-7: Druckfestigkeiten der Proben bei verschiedenen Feuchtezuständen	47
Tab. 3-8: Biegezugfestigkeiten und E-Module bei verschiedenen Feuchtezuständen	50
Tab. 3-9: Druckfestigkeit, Masseverlust und optischer Zustand nach 20 FTW	54
Tab. 3-10: Bewertung der petrographischen und gesteintechnischen Kennwerte der Sandsteine und Zuordnung in Qualitätsgruppen	58
Tab. 3-11: Festlegung von gesteintechnischen Kennwerten für die Qualitätsgruppen	61
Tab. 5-1: Qualitätsprüfungen für die Natursteinfestigung	104
Tab. 5-2: Konservierungstechnologien für Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	107
Tab. 5-3: Bewertung früherer Laboruntersuchungen an thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen	111
Tab. 5-4: Ergebnisse von Festigungsmaßnahmen an ausgewählten Denkmalen	112
Tab. 5-5: Übersicht über die verwendeten Festigungsmittel	114
Tab. 5-6: Übersicht der verwendeten Wirkstoffgehalte	115
Tab. 5-7: Kapillare Festigeraufnahme	116
Tab. 5-8: Eindringtiefe der Festiger	117
Tab. 5-9: Dichten und Gesamtporosität der gefestigten Proben	119
Tab. 5-10: Kapillare Wasseraufnahme der gefestigten Sandsteine	121
Tab. 5-11: Kapillare Eindringtiefe von Wasser	122
Tab. 5-12: Wasserdampfdiffusionsstromdichte, diffusionsäquivalente Luftschichtdicke und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl der Proben	123
Tab. 5-13: Hygrische Dehnung der Proben bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten	125
Tab. 5-14: Druck- und Biegezugfestigkeit der Steine bei unterschiedlichen Feuchtezuständen	126
Tab. 5-15: E-Module der Sandsteine bei unterschiedlichen Feuchtezuständen	128
Tab. 5-16: Druckfestigkeit der Proben nach 20 Frost-Tau-Wechseln	130
Tab. 5-17: Qualitätsprüfung der Festigungen	131

Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 3-1: Porengrößenverteilung ausgewählter Sandsteine	27
Diagramm 3-2: Porositäten, Wasseraufnahmen und Sättigungswerte der Proben	36
Diagramm 3-3: Kapillare Wasseraufnahmekoeffizienten der Proben	38
Diagramm 3-4: Zeitabhängige kapillare Wasseraufnahmen ausgewählter Proben	38
Diagramm 3-5: Hygroskopische Wasseraufnahme der Proben	39
Diagramm 3-6: Abhängigkeit der hydr. Wasseraufnahme von der spez. Oberfläche	40
Diagramm 3-7: Hygr. Dehnung der Proben mit Darstellung der Bindemittelanteile	42
Diagramm 3-8: Diffusionswiderstand der Proben mit Darstellung der Bindemittelanteile	44
Diagramm 3-9: Wasserdampfdiffusionswiderstand in Abhängigkeit von der Porosität	45
Diagramm 3-10: Druckfestigkeit der Sandsteine in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung	46
Diagramm 3-11: Druckfestigkeit der Sandsteine bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten	46
Diagramm 3-12: Biegezugfestigkeiten der Proben in Abhängigkeit von der Feuchte	49
Diagramm 3-13: Statischer Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Feuchte	52
Diagramm 3-14: Abhängigkeit der Wasseraufnahme von der Porosität	62
Diagramm 3-15: Abhängigkeit der kapillaren Wasseraufnahme von der Porosität	63
Diagramm 3-16: Abhängigkeit der hydr. Wasseraufnahme von der Porosität	64
Diagramm 3-17: Abhängigkeit der hydr. Wasseraufnahme von der inneren Oberfläche	67
Diagramm 3-18: Abhängigkeit der hygrischen Dehnung von der Porosität	65
Diagramm 3-19: Abhängigkeit der hygrischen Dehnung von der Inneren Oberfläche	65
Diagramm 3-20: Abhängigkeit des Diffusionswiderstandes von der Porosität	66
Diagramm 3-21: Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Porosität	68
Diagramm 3-22: Abhängigkeit der Biegezugfestigkeit von der Porosität	68
Diagramm 3-23: Abhängigkeit des statischen E-Moduls von der Porosität	69
Diagramm 3-24: Abhängigkeit des dynamischen E-Moduls von der Porosität	69
Diagramm 3-25: Abhängigkeit des statischen E-Moduls von der Druckfestigkeit	70
Diagramm 3-26: Regionale Verteilung der Qualitätsgruppen	73
Diagramm 5-1: Kapillare Festigeraufnahme in Abhängigkeit von der Zeit	116
Diagramm 5-2: Kapillare Eindringtiefe der Festiger	117
Diagramm 5-3: Roh- und Reindichte der gefestigten Sandsteine	120
Diagramm 5-4: Gesamtporosität der gefestigten Sandsteine	120
Diagramm 5-5: Kapillare Wasseraufnahme der gefestigten Sandsteine	121
Diagramm 5-6: Kapillare Eindringtiefe von Wasser an den gefestigten Sandsteinen	122
Diagramm 5-7: Diffusionswiderstandszahlen der gefestigten Sandsteine	124
Diagramm 5-8: Hygrische Dehnung der Proben	125
Diagramm 5-9: Druckfestigkeiten der Sandsteine	126
Diagramm 5-10: Biegezugfestigkeiten der Sandsteine	127
Diagramm 5-11: Statischer E-Modul der Sandsteine	128
Diagramm 5-12: Dynamischer E-Modul der Sandsteine	129
Diagramm 5-13: Prozentualer Anteil der Druckfestigkeit der Proben nach 20 FTW	130
Diagramm 5-14: Bohrdiagrammkurve einer Probe der Musterfläche	137
Diagramm 5-15: Bohrdiagrammkurve einer Probe der Musterfläche	139

Verzeichnis der Abbildungen und Tafeln

Abbildungen

Abb. 1-1: Schleusingen, Grablege der „Henneberger“ in der Ägidienkapelle	1
Abb. 2-1: Verbreitung des Keupers in Thüringen	3
Abb. 2-2: Vorkommen und Zustand der früheren Steinbrüche	11
Abb. 3-1: Dünnschliff eines Sandsteins mit hohem Porenanteil	31
Abb. 3-2: Dünnschliff eines Sandsteines mit wechselnder, unregelmäßiger Porosität	31
Abb. 3-3: Dünnschliff eines Sandsteines mit relativ geringer Porosität	32
Abb. 3-4: Dünnschliff eines Sandsteins mit karbonatischem Bindemittel	33
Abb. 3-5: Probe TRB nach 20 Frost-Tau-Wechseln	53
Abb. 3-6: Probe KHH nach 20 Frost-Tau-Wechseln	53
Abb. 3-7: Probe UKG nach 20 Frost-Tau-Wechseln	53
Abb. 3-8: Probe MLZ nach 20 Frost-Tau-Wechseln	53
Abb. 3-9: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe I am Beispiel der Probe MLZ	59
Abb. 3-10: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe II am Beispiel der Probe HLB	60
Abb. 3-11: Gefügebeispiel für die Qualitätsgruppe III am Beispiel der Probe TEN	60
Abb. 3-12: Mächtigkeitsübersicht des Lettenkeupers	74
Abb. 4-1: Prozentualer Anteil der Bauteile aus Lettenkeuper- und Schilfsandstein	76
Abb. 4-2: Gesims aus Rätsandstein, Pfeilermauerwerk aus Lettenkeupersandstein	77
Abb. 4-3: Sockel aus Muschelkalk, aufgehendes Mauerwerk aus Sandstein	77
Abb. 4-4: Gesimse, Strebepfeiler und Fassadenwerksteine aus Schilfsandstein	78
Abb. 4-5: Gesimse, Giebelabdeckungen und Fassaden aus Lettenkeupersandstein	78
Abb. 4-6: Kirchheim bei Arnstadt (kuS)	81
Abb. 4-7: Streufdorf im Grabfeld (kmS)	81
Abb. 4-8: Streufdorf im Grabfeld (kmS) - Schalenbildung an einer Sohlbank	82
Abb. 4-9: Streufdorf im Grabfeld (kmS) - Schalenbildung an einer Sohlbank	82
Abb. 4-10: Kornhochheim bei Erfurt (kuS) - Wand mit Abschuppungen	83
Abb. 4-11: Gotha (kuS) - Starkes Absanden	83
Abb. 4-12: Milz im Grabfeld (kmS) - Braunfärbung (Patinierung) einzelner Werksteine	84
Abb. 4-13: Großenehrich im Th. Becken (kuS) - Insektenbefall im Sandstein	84
Abb. 4-14: Gotha (nördl. Th. Wald) - Starkes Absanden in der Sockelzone	85
Abb. 4-15: Mönchshof (Grabfeld) - Absanden in der Verdunstungszone	86
Abb. 4-16: Mendhausen (Grabfeld) - Einbausituation im Sockel	86
Abb. 4-17: Gotha (nördl. Th. Wald) - Abschuppen und Abschalen	87
Abb. 4-18: Bibra (Grabfeld) - Abschalen an den Gesimsen	87
Abb. 4-19: Vippachedelhausen (Th. Becken) - Sehr starkes Absanden	88
Abb. 4-20: Großenehrich (Th. Becken) - Rückwitterung der Gesimsabschnitte	88
Abb. 4-21: Streufdorf (Grabfeld) - Absanden und Abschalen an einer Inschrift	89
Abb. 4-22: Rockhausen (nördl. Th. Wald) - Absanden an den Körperkanten	89
Abb. 4-23: Großballhausen (Th. Becken) - Rissbildungen	90
Abb. 4-24: Milz (Grabfeld) - Rissbildungen	90
Abb. 4-25: Eishausen (Grabfeld) - Rissbildungen	90
Abb. 4-26: Streufdorf (Grabfeld) - Rissbildungen	90

Abb. 4-27: Eishausen (Grabfeld), Kirche 18. Jh.	91
Abb. 4-28: Elxleben (nördl. Th. Wald), Scheune, 18. Jh.	91
Abb. 4-29: Kleinballhausen (Th. Becken)	92
Abb. 4-30: Bibra (Grabfeld) - Senkrecht zur Schichtung verlaufende Abschalungen	92
Abb. 4-31: Roth (Grabfeld) - Unterschiedliche Schadbilder bei gleicher Einbausituation	93
Abb. 4-32: Barockpfeiler aus Lettenkeupersandstein in Neudietendorf	93
Abb. 4-33: Barockpfeiler aus Lettenkeupersandstein in Bedheim	94
Abb. 5-1: Überblick über historische und aktuelle Produkte in der Steinkonservierung	95
Abb. 5-2: Fassungsreste an Lettenkeupersandsteinen	102
Abb. 5-3: Prinzipskizze einer Behandlung mit quellmindernden Tensiden	103
Abb. 5-4: Schnitt durch einen Bossen aus Gothaer Lettenkeupersandstein	118
Abb. 5-5: Profilschnitt eines Bohrkerns aus der Musterachse	136
Abb. 5-6: Profilschnitt eines Bohrkerns vom Pfeilers Nr. 6-W	138
Abb. 5-7: Profilschnitt eines Bohrkerns vom Pfeilers Nr. 6-N	138
Abb. 5-8: Veste Heldburg, Herrenkerker, Schalenhinterfüllung	142
Abb. 5-9: Veste Heldburg, Frauenerker, Konservierung von Abblätterungen	143
Abb. 5-10: Gotha, Schloss Friedenstein, Schlämme	144
Abb. 5-11: Gotha, Schloss Friedenstein, Schlämme	144
Abb. 5-12: Einflussfaktoren auf das Konservierungskonzept von Natursteinen	145

Tafeln

Tafel 2-1: Beispiele der Verwendung von Lettenkeupersandsteinen in Thüringen	9
Tafel 2-2: Beispiele der Verwendung von Schilfsandsteinen in Thüringen	10
Tafel 2-3: Steinbrüche im Lettenkeupersandstein	13
Tafel 2-4: Steinbrüche im Schilfsandstein	15
Tafel 3-1: Beispiele thüringischer Lettenkeuper- und Schilfsandsteine	29
Tafel 5-1: Wirkungsweise verschiedener Konservierungsmittel und Beschichtungen	96
Tafel 5-2: Applikation der Festiger an den Musterflächen	135

Anlagen

- | | |
|------------|---|
| Anhang I | Beschreibung der ehemaligen Werksteinbrüche der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine und Referenzobjekte |
| Anhang II | Petrographische Einzelbeschreibung und Technische Kennwerte von thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen |
| Anhang III | Verwendungsbeispiele und Einbausituationen von Bauteilen aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen im Gebäudebestand |
| Anhang IV | Auswertung von Konservierungsmaßnahmen an ausgewählten Denkmalen aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in Thüringen |

Anhang I

Beschreibung der ehemaligen Werksteinbrüche der thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteine und Referenzobjekte

Verzeichnis der untersuchten Werksteinbrüche:

Die Ordnung der Steinbrüche erfolgt nach geographischer Lage, beginnend mit den nördlichsten Vorkommen in Thüringen.

Standort	TK 25	Topographische Karte	Stratigraphie	Bruchnummer	Seite
----------	-------	----------------------	---------------	-------------	-------

Steinbrüche nördlich des Thüringer Waldes

Freienbessingen	4730	Ebeleben	kuS	4730-1	II-4 bis II-6
Mittelsömmern	4730	Ebeleben	kuS	4730-2	II-7 bis II-8
Topfstedt	4731	Greußen	kuS	4731-1	II-9
Clingen	4731	Greußen	kuS	4731-2	II-10
Otterstedt	4731	Greußen	kuS	4731-3	II-11
Bothenheiligen	4829	Bad Langensalza	kuS	4829-1	II-12
Großwelsbach	4829	Bad Langensalza	kuS	4829-2	II-13
Haussömmern	4830	Großvargula	kuS	4830-1	II-14
Großurleben	4830	Großvargula	kuS	4830-2	II-15 bis II-17
Tennstedt	4830	Großvargula	kuS	4830-3	II-18 bis II-20
Kleinvargula	4830	Großvargula	kuS	4830-4	II-21 bis II-22
Herbsleben-Großvargula	4830	Großvargula	kuS	4830-5	II-23
Herbsleben SW	4830	Großvargula	kuS	4830-6	II-24
Kutzleben	4831	Gebesse	kuS	4831-1	II-25
Kleinballhausen	4831	Gebesse	kuS	4831-2	II-27 bis II-29
Straußfurt	4832	Sömmerda	kuS	4832-1	II-30 bis II-31
Vogelsberg	4833	Kölleda	kuS	4833-1	II-32 bis II-33
Orlishausen	4833	Kölleda	kuS	4833-2	II-34
Teutleben	4834	Buttstedt	kuS	4834-1	II-35 bis II-37
Lauterbach	4928	Mihla	kuS	4928-1	II-38 bis II-40
Henningsleben	4929	Behringen	kuS	4929-1	II-41 bis II-42
Eckardsleben	4930	Gräfentonna	kuS	4930-1	II-43
Herbsleben	4931	Erfurt NW	kuS	4931-1	II-44 bis II-45
Dachwig	4931	Erfurt NW	kuS	4931-2	II-46 bis II-47
Kleinfahner	4931	Erfurt NW	kuS	4931-3	II-48
Witterda	4931	Erfurt NW	kuS	4931-4	II-49
Tiefthal	4931	Erfurt NW	kuS	4931-5	II-50
Dielsdorf	4933	Weimar NW	kuS	4933-1	II-51 bis II-52
Markvippach	4933	Weimar NW	kuS	4933-2	II-53 bis II-54
Thalborn	4933	Weimar NW	kuS	4933-3	II-55 bis II-56
Haindorf	4933	Weimar NW	kuS	4933-4	II-57
Tröchtelborn	5030	Gotha	kuS	5030-1	II-58 bis II-59
Gotha	5030	Gotha	kuS	5030-2	II-60 bis II-61
Tüttleben	5030	Gotha	kuS	5030-3	II-62

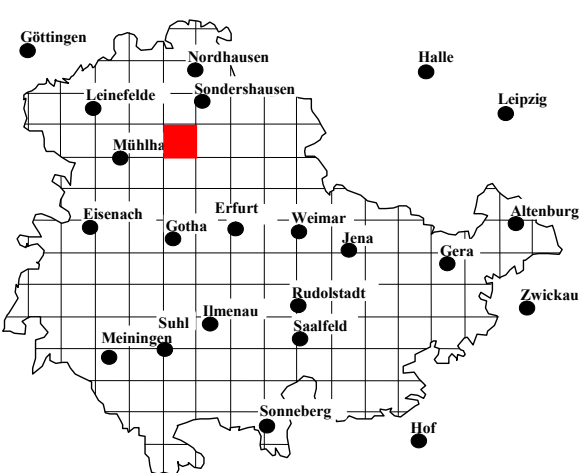
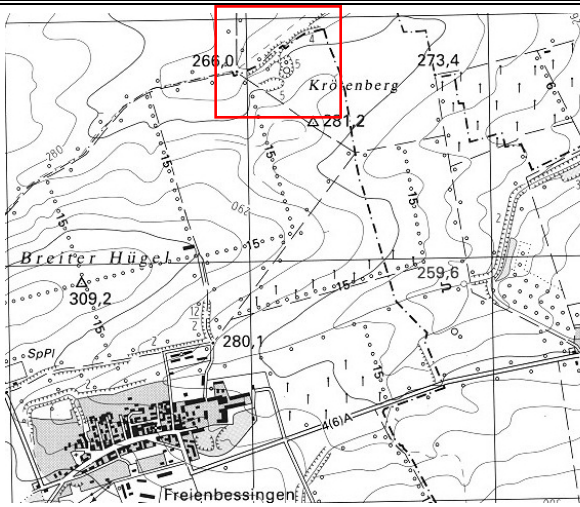
Standort	TK 25	Topographische Karte	Stratigraphie	Bruchnummer	Seite
----------	-------	----------------------	---------------	-------------	-------







Steinbrüche nördlich des Thüringer Waldes (Fortsetzung)

Ingersleben	5031	Erfurt W	kuS	5031-1	II-63 bis II-65
Neudietendorf	5031	Erfurt W	kuS	5031-2	II-66 bis II-67
Kornhochheim	5031	Erfurt W	kuS	5031-3	II-68 bis II-69
Vieselbach	5032	Erfurt	kuS	5032-1	II-70
Hochstedt	5032	Erfurt	kuS	5032-2	II-71 bis II-72
Mönchenholzhausen	5032	Erfurt	kuS	5032-3	II-73 bis II-74
Erfurt	5032	Erfurt	kmS	5032-4	II-75 bis II-76
Niedernissa	5032	Erfurt	kuS	5032-5	II-77
Rockhausen	5032	Erfurt	kuS	5032-6	II-78 bis II-79
Hopfgarten SW	5033	Weimar	kuS	5033-1	II-80
Hopfgarten SE	5033	Weimar	kuS	5033-2	II-81 bis II-82
Magdala	5034	Weimar O	kuS	5034-1	II-83 bis II-84
Mellingen	5034	Weimar O	kuS	5034-2	II-85
Eischleben	5131	Arnstadt	kuS	5131-1	II-86 bis II-87
Molsdorf	5131	Arnstadt	kuS	5131-2	II-88
Kirchheim	5132	Marlishausen	kuS	5132-1	II-89 bis II-90
Elxleben	5132	Marlishausen	kuS	5132-2	II-91 bis II-92

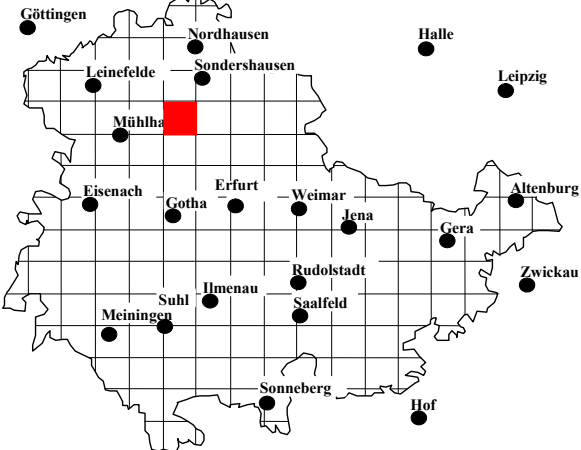
Steinbrüche südlich des Thüringer Waldes

Marisfeld	5429	Themar	kuS	5429-1	II-93 bis II-94
Schwickershausen	5528	Rentwerthausen	kuS	5528-1	II-95 bis II-96
Behrungen	5528	Rentwerthausen	kuS	5528-2	II-97
Bedheim	5629	Römhild	kuS	5629-1	II-98 bis II-103
Hindfeld	5629	Römhild	kmS	5629-2	II-104 bis II-107
Milz-Hindfeld	5629	Römhild	kmS	5629-3	II-108 bis II-110
Adelhausen N	5630	Rodach	kuS	5630-1	II-111 bis II-113
Adelhausen S	5630	Rodach	kuS	5630-2	II-114
Streuendorf	5630	Rodach	kmS	5630-3	II-115 bis II-117

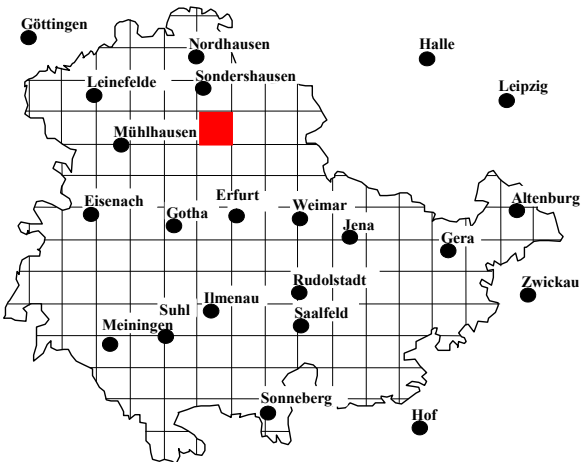
Steinbruch Freienbessingen		Nr. 4730-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Ebeleben	Unterer Keuper	ku
Nr.	4730	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 79 720		
Rechtswert	44 15 120		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Am Krötenberg, ca. 1.5 km nordöstlich von Freienbessingen 		<ul style="list-style-type: none"> - graugrünes Material aus dem größeren Steinbruch, Probe FBB - gelbgrünes Abbruchmaterial aus dem Gut in Freienbessingen, Probe FBG 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Großer und kleiner Steinbruch direkt nebeneinander - der größere Bruch nicht verfüllt - mit freistehenden Bruchwänden - 4 m hoch - der kleinere Bruch teilweise mit Müll verfüllt und verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - seit mindestens 1880 still gelegt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: oliv- gelbgrün, graugrün, rotbraun - grüne Varietäten an Gebäuden oft weniger gut erhalten - rotbraune Varietäten an Gebäuden weisen bei vergleichbaren Einbausituationen bessere Witterungsbeständigkeit auf 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Freienbessingen: Kirche (17. Jh.) und Gut (19. Jh.) - Abtsbessingen: Kirche (15. Jh.) 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.01 (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (1857) 	

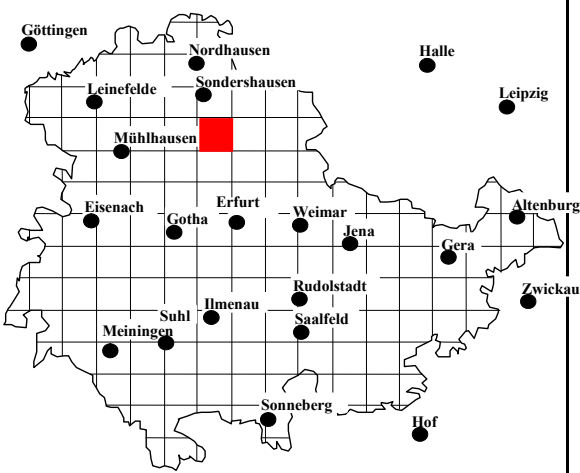
Steinbruch Freienbessingen		Nr. 4730-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Großer Steinbruch am Krötenberg	Abb. 2: Großer Steinbruch	
		
Abb. 3: Bruchwände ca. 4 m hoch	Abb. 4: Ausschnitt der Bruchwand	
		
Abb. 5: Kleiner Steinbruch, mit Müll verfüllt	Abb. 6: Kleiner Steinbruch	

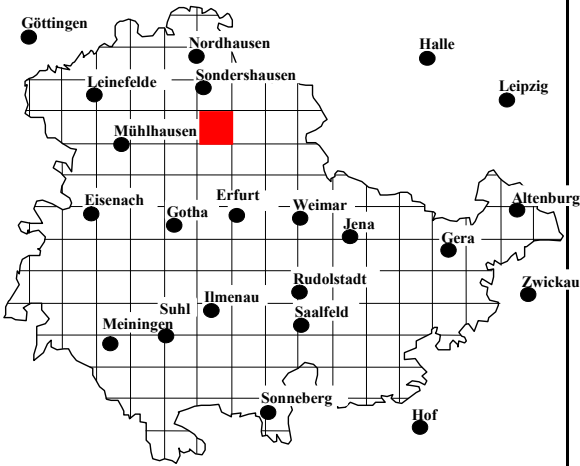
Steinbruch Freienbessingen		Nr. 4730-1
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Freienbessingen, Taubenhaus (19. Jh.)	Abb. 2: Freienbessingen, Kirche (17. Jh.)	
		
Abb. 3: Freienbessingen, Stallgebäude	Abb. 4: Freienbessingen, Detail Stallgebäude	
		
Abb. 5: Freienbessingen, Detail Taubenhaus	Abb. 6: Abtsbessingen, Kirche, Eckquaderung	

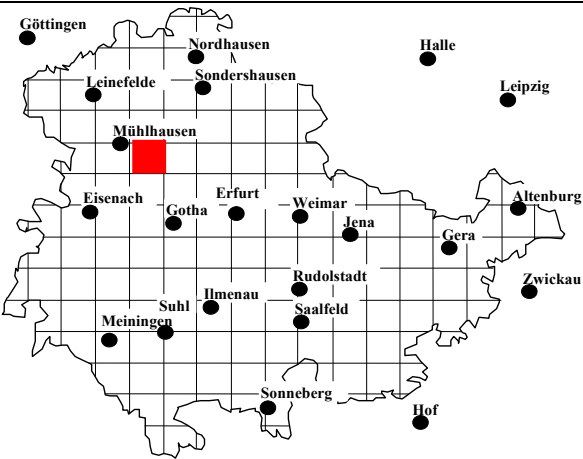
Steinbruch Mittelsömmern		Nr. 4730-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Ebeleben	Unterer Keuper	ku
Nr.	4730	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 76 630		
Rechtswert	44 15 520		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- ca. 2,5 km NW von Mittelsömmern		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- in der geologischen Karte von 1975 vermerkt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- Farbe: olivgrün, graugrün, graubraun - grüne Varietäten an Gebäuden oft weniger gut erhalten als graubraune Varietäten, die bei vergleichbaren Einbausituationen bessere Witterungsbeständigkeit aufweisen	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- Mittelsömmern, Edelhof (15. Jh.) - Schilfa, Epitaphe (18. Jh.)		- Geologische Karte mit Erläuterungen (1857)	

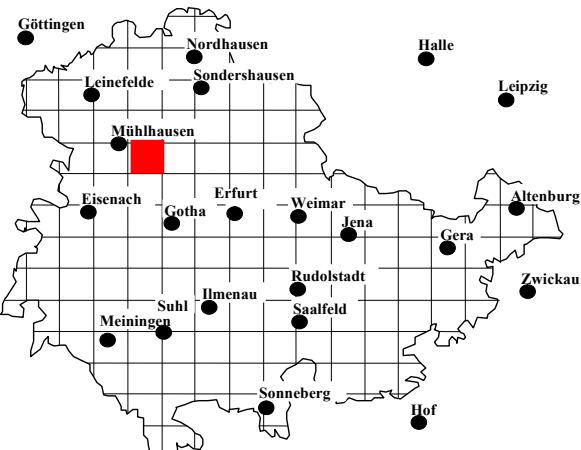
Steinbruch Mittelsömmern	Nr. 4730-2
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte	
	
Abb. 1: Mittelsömmern, Edelhof (15. Jh.)	Abb. 2: Mittelsömmern, Edelhof, Gewände
	
Abb. 3: Mittelsömmern, Edelhof, Fenstersturz	Abb. 4: Mittelsömmern, Edelhof, Gewände
	
Abb. 5: Schilfa, Kirche, Epitaphe (18. Jh.)	Abb. 6: Schilfa, Epitaph, Detail

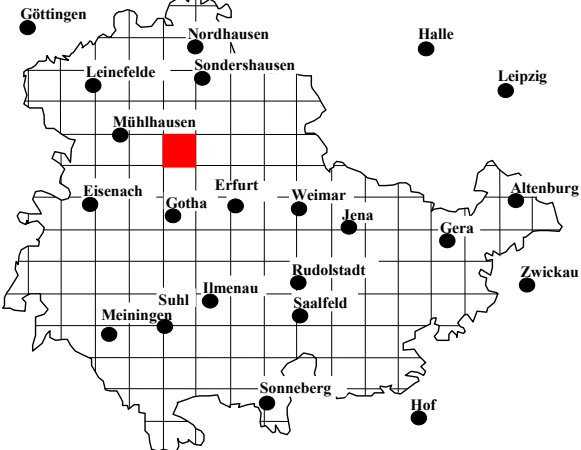
Steinbruch Topfstedt		Nr. 4731-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Greußen	Unterer Keuper	ku
Nr.	4731	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 80 000		
Rechtswert	44 27 500		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- ca. 500 m NW von Niedertopfstedt		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- in der geolog. Karte von 1884 vermerkt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- nicht möglich	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Geologische Karte mit Erläuterungen (KAYSER 1884)	

Steinbruch Clingen		Nr. 4731-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Greußen	Unterer Keuper	ku
Nr.	4731	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 78 260		
Rechtswert	44 25 170		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- ca. 1 km NW von Clingen		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- in der geolog. Karte von 1884 vermerkt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- nicht möglich	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Geologische Karte mit Erläuterungen (KAYSER 1884)	







Steinbruch Otterstedt		Nr. 4731-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Greußen	Unterer Keuper	ku
Nr.	4731	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 82 710		
Rechtswert	44 21 910		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- ca. 200 m N der Kirche von Otterstedt		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- in der geolog. Karte von 1884 vermerkt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- nicht möglich	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Geologische Karte mit Erläuterungen (KAYSER 1884)	






Steinbruch Bothenheiligen		Nr. 4829-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Bad Langensalza	Unterer Keuper	ku
Nr.	4829	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 73 630		
Rechtswert	44 04 380		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 800 m NE von Bothenheiligen, an der ehemaligen Windmühle 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch nicht mehr vorhanden, heute Baumschule 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - zuletzt beschrieben 1905 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Beschreibung des Streinbruchs (KAISER & NAUMANN 1905) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 10 m - oben verwitterte, plattige, zerklüftete violett-rote Sandsteine - weiter unten gelb- bis lederbraune Schichten mit glimmerreichen, hellgraubraunen Lagen, in diesen zahlreiche Pflanzenreste 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: rot-violett, gelb- und graubraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (KAISER & NAUMANN 1905) 	

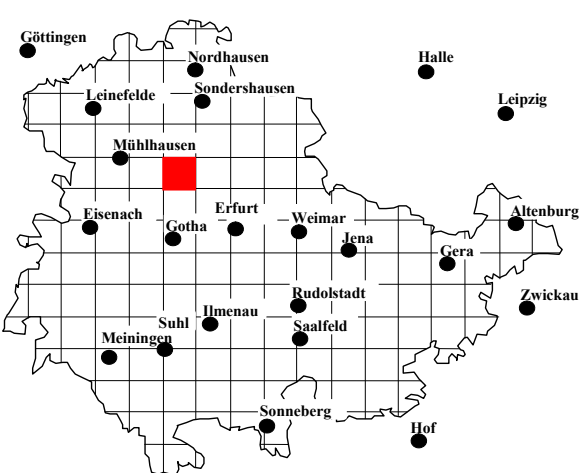
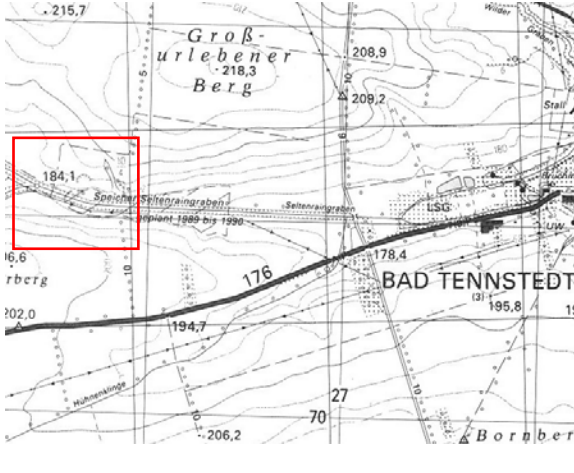
Steinbruch Großwelsbach		Nr. 4829-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Bad Langensalza	Unterer Keuper	ku
Nr.	4829	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 70 790		
Rechtswert	44 05 160		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 2 Steinbrüche ca. 500 m und 950 m SE von Großwelsbach - auch angegeben für HW 56 70 920 und RW 44 04 870 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbrüche nicht mehr vorhanden 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - zuletzt beschrieben 1905 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - keine Angaben 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: rot-violett, gelb- und graubraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (KAISER & NAUMANN 1905) 	







Steinbruch Haussömmern		Nr. 4830-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 73 550		
Rechtswert	44 18 090		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- SE am Ortsrand		- keine	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Steinbruch völlig eingeebnet		- nicht bekannt - zuletzt beschrieben 1880	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880)		- Farbe: rot-violett, gelb- und graubraun	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Steinbruch 1.12.02 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880)	

Steinbruch Großurleben		Nr. 4830-2	
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 70 000		
Rechtswert	44 13 275	Probenentnahmemöglichkeit	
Lagebeschreibung			
<ul style="list-style-type: none">- ca. 1.2 km WSW von Großurleben- ca. 500 m südlich des Steinbruchs befindet sich gegenwärtig eine Deponie, in der der Stein aufgeschossen ist		<ul style="list-style-type: none">- Im Bruch nicht mehr möglich- Materialentnahme aus der Deponie Kleinurleben, Probe GRU	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none">- kreisrunder Steinbruch- z.T. verfüllt, zugewachsen- alter Baumbestand		<ul style="list-style-type: none">- nicht bekannt- zuletzt beschrieben 1880	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none">- Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880)		<ul style="list-style-type: none">- Farbe: in der Deponie gelbbraun, graubraun- im Gebäudebestand auch gelbgrün	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none">- Gebäude in Großurleben		<ul style="list-style-type: none">- Steinbruch 1.12.03 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978)- Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880)	

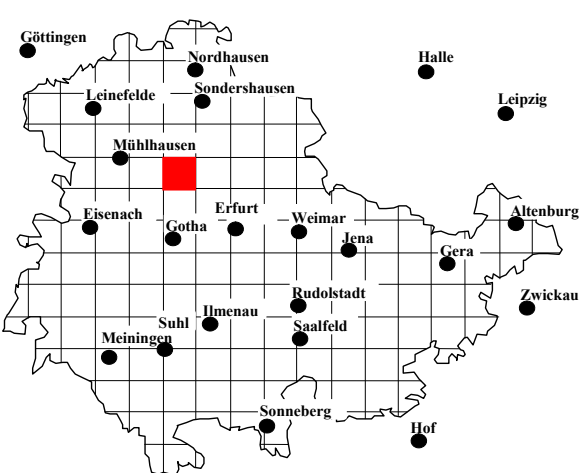
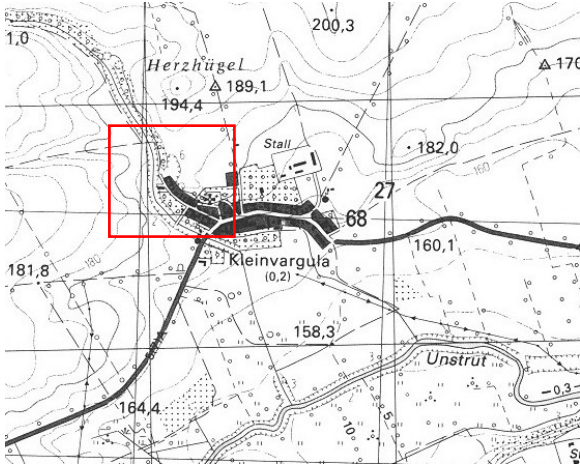
Steinbruch Großurleben		Nr. 4830-2
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Ehemaliger Steinbruch Großurleben	Abb. 2: Ehemaliger Steinbruch Großurleben	
		
Abb. 3: Deponie Kleinurleben	Abb. 4: Deponie Kleinurleben	
		
Abb. 5: Deponie Kleinurleben	Abb. 6: Deponie Kleinurleben	







Steinbruch Großurleben		Nr. 4830-2
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Großurleben, Gebäudesockel	Abb. 2: Großurleben, Gewölbekeller	
		
Abb. 3: Großurleben, Gewölbekeller, Detail	Abb. 4: Großurleben, Gewölbekeller	
		
Abb. 5: Großurleben, Mühlstein		

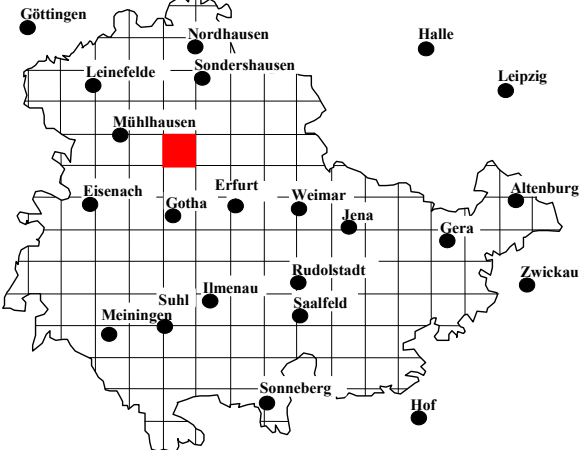
Steinbruch Tennstedt		Nr. 4830-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 69 690		
Rechtswert	44 15 940		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Zwischen Bad Tennstedt und Großurleben - ca. 2.5 km W von Bad Tennstedt, an der Nordseite des Seltenraingrabens - auch angegeben für HW 56 69 750 und RW 44 15 750 		<ul style="list-style-type: none"> - aus dem südlichen Bruch; Probe TEN 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - 2 Brüche in Nordausrichtung - Südlicherer (unterer), größerer Bruch mit Resten sichtbaren Felsens an der Ostflanke (max. 4 m hoch), sonst zugewachsen mit Busch- und Baumbestand - Nördlicherer (oberer), kleinerer Bruch ist zugewachsen, im oberen Teil mit Müll zugekippt, älterer Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - in der Karte von 1880 als ein großer Bruch eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbgrün, gelbbraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Bad Tennstedt: Hospitalskapelle (16. Jh.) - Gebäudemauerwerk in Bad Tennstedt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880) 	

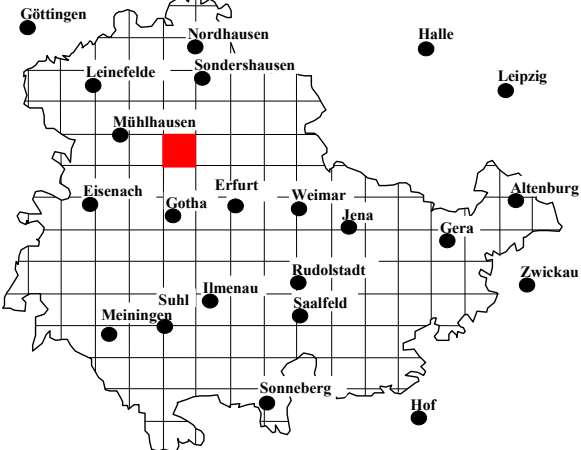
Steinbruch Tennstedt		Nr. 4830-3
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Südlicher Bruch	Abb. 2: Südlicher Bruch, Ostflanke	
		
Abb. 3: Südlicher Bruch, Ostflanke	Abb. 4: Südlicher Bruch, Steinmaterial	
		
Abb. 5: Nördlicher Bruch	Abb. 6: Nördlicher Bruch	

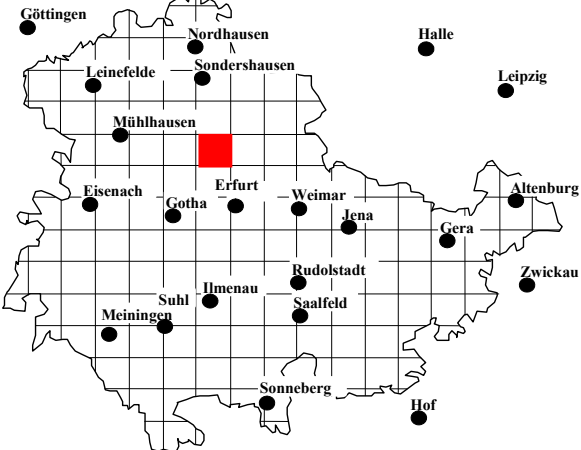
Steinbruch Tennstedt		Nr. 4830-3
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Bad Tennstedt, Giebelmauerwerk		Abb. 2: Detail Giebelmauerwerk

Steinbruch Kleinvargula		Nr. 4830-4	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 67 175		
Rechtswert	44 15 925		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 200 m NW der Kirche von Kleinvargula - ein weiterer, jetzt verfüllter Bruch lag östlich direkt neben dem Bruch - HW 56 66 740 und RW 44 16 090 		<ul style="list-style-type: none"> - bedingt möglich - Materialentnahme aus Abbruchmaterial; - feines Material Probe KVF - gröberes Material Probe KVG 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Großer, kreisförmiger Steinbruch mit Resten sichtbaren Felsens an der Ostflanke (max. 3 m hoch) - Bruchsohle ist Wiese ohne Baumbestand - Hänge laut Angaben durch Anwohner mit Schutt und Schrott verfüllt - Bruchwände (bis ca. 9 m) sollen bis in die 1970er Jahre noch sichtbar gewesen sein 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - zuletzt beschrieben 1880 - in den 1960er Jahren soll es durch die Natursteinwerke in Bad Langensalza Bestrebungen gegeben haben, den Bruch zu reaktivieren 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbgrün, gelbbraun, graugrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kleinvargula: Kirche (18. Jh.) und mehrere Gebäude - Schloss in Herbsleben (16. Jh.) 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.04 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880) 	

Steinbruch Kleinvargula		Nr. 4830-4
Abbildungen des Steinbruchs	Verwendungsbeispiele	
		
Abb. 1: Südliche Bruchwand	Abb. 4: Friedhofsmauer Kleinvargula	
		
Abb. 2: Ostflanke, anstehender Fels	Abb. 5: Kirche Kleinvargula	
		
Abb. 3: Ostflanke des Steinbruchs	Abb. 6: Kirche Kleinvargula Fenstergewände	

Steinbruch Herbsleben-Großvargula		Nr. 4830-5	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 64 900		
Rechtswert	44 16 700		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - An der Straße zwischen Großvargula und Herbsleben - ca. 1.5 km WSW von Herbsleben 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch völlig eingeebnet 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - In der Karte von 1880 als großer Bruch eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbgrün, graugrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Herbsleben: Kirche, Schloss, Schlossbrücke 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880) 	

Steinbruch Herbsleben SW		Nr. 4830-6	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Großvargula	Unterer Keuper	ku
Nr.	4830	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 64 000		
Rechtswert	44 17 050		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- SW von Herbsleben		- keine	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Steinbruch völlig verwachsen		- nicht bekannt - In der Karte von 1880 als Bruch eingetragen	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 9,4 m (SPEYER 1880)		- Farbe: gelbgrün, graugrün	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- Herbsleben: Kirche, Schloss, Schlossbrücke		- Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1880) - (PATZELT 1996)	

Steinbruch Kutzleben		Nr. 4831-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gebesee	Unterer Keuper	ku
Nr.	4831	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 73 730		
Rechtswert	44 20 900		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 200 m SW von Kutzleben, an der alten Straße nach Tennstedt 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch nicht mehr vorhanden, überbaut 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - auf der Karte von 1883 noch vorhanden 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 15,7 m (SPEYER 1883) - Bankmächtigkeit 1,9 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbgrün, rotbraun, graugrün - patiniert bräunlich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Torbögen in Kutzleben 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883a) - Steinbruch 1.12.05 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Kutzleben

Nr. 4831-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Kutzleben, Toreinfahrt



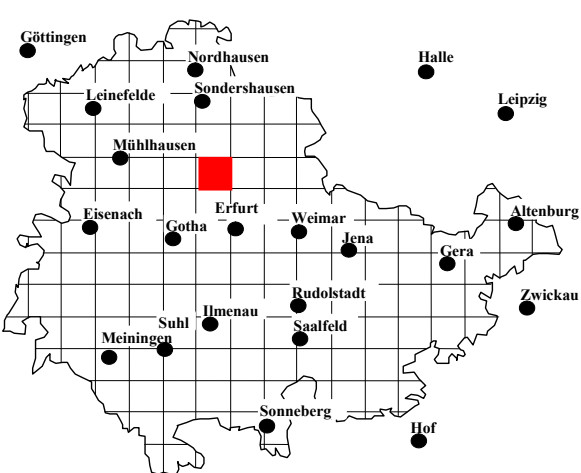
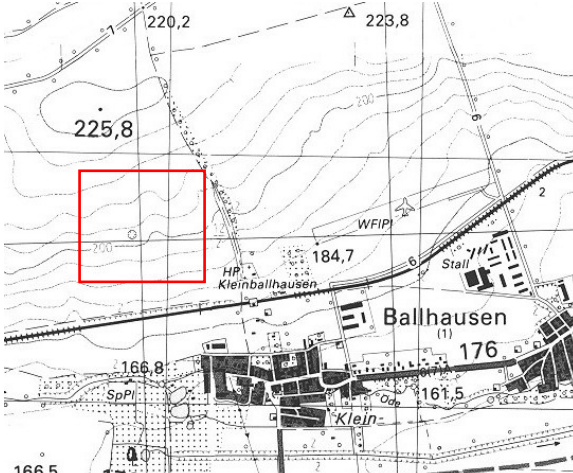
Abb. 2: Torbogen, Detail









Abb. 3: Kutzleben, Torbogen



Abb. 4: Türleibung, Detail

Steinbruch Kleinballhausen		Nr. 4831-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gebesee	Unterer Keuper	ku
Nr.	4831	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 70 020		
Rechtswert	44 20 970		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 700 m NW von Kleinballhausen, oberhalb der Eisenbahnlinie 		<ul style="list-style-type: none"> - bedingt möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch ist zum Großteil verkippt (Müll und Erde), verwachsen, alter Baumbestand - An der Westseite noch geringe Reste von Felsen sichtbar 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt - auf der Karte von 1883 noch vorhanden 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit des Lettenkohlsandsteins ca. 15,7 m (SPEYER 1883) - Bankmächtigkeit 1,9 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbbraun, gelbgrün, rotbraun - Verwitterung: An der Kirche in Kleinballhausen zeigen gelbbraune Sandsteine eine deutlich bessere Witterungsbeständigkeit als rotbraune. 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudebestand in Kleinballhausen und Großballhausen - Kirche Kleinballhausen (15. Jh.) - Kirche Großballhausen (16. Jh.) - Epitaphe, Waidmühlsteine 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883a) - Steinbruch 1.12.06 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Kleinballhausen		Nr. 4831-2
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Steinbruch, mit Müll verfüllt	Abb. 2: Reste anstehenden Felses	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Kleinballhausen: Waidmühlstein	Abb. 2: Mauer in Großballhausen	
		
Abb. 3: Großballhausen: Gewände der Kirche	Abb. 4: Großballhausen: Eckquader der Kirche	

Steinbruch Kleinballhausen

Nr. 4831-2

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte (Fortsetzung)



Abb. 5: Kirche in Kleinballhausen (15. Jh.)

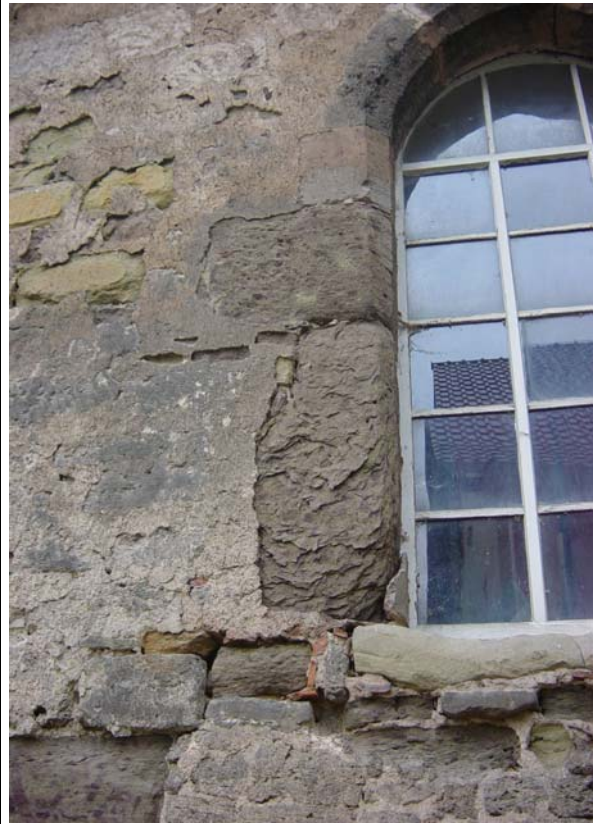


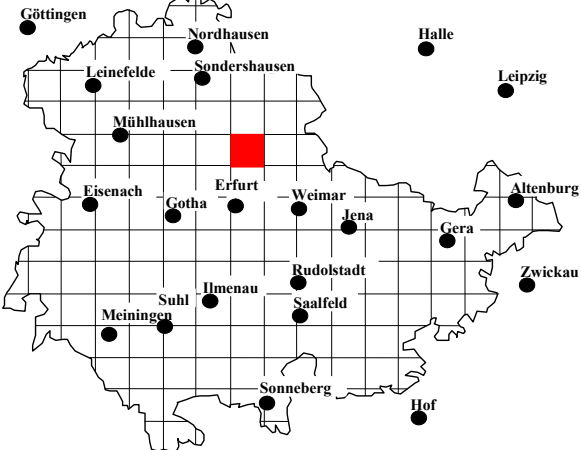
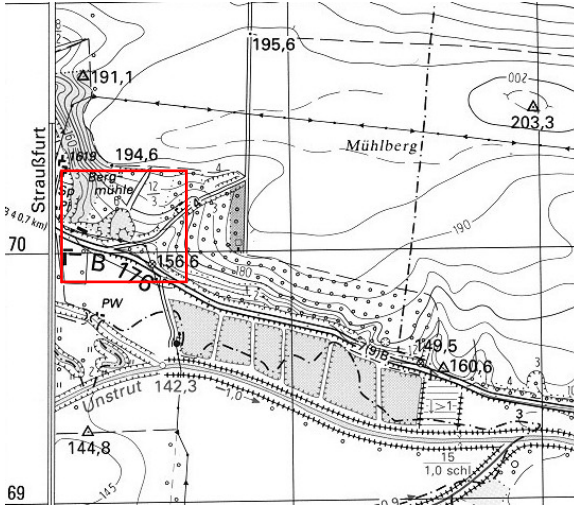
Abb. 6: Detail: Fenstergerände



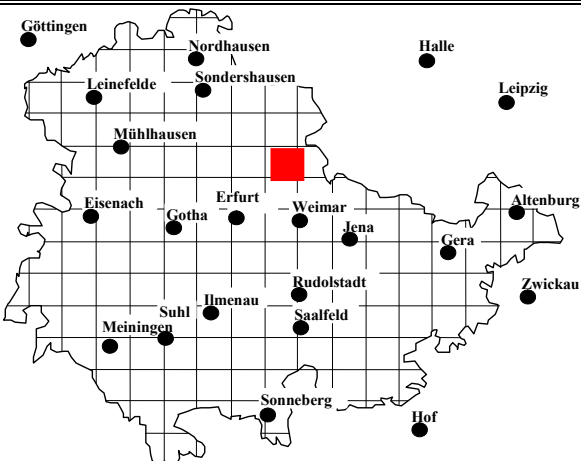
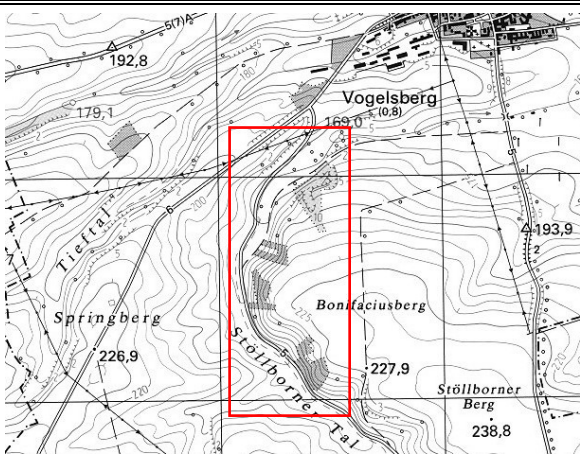
Abb. 7: Mauerwerk des Kirchenschiffs



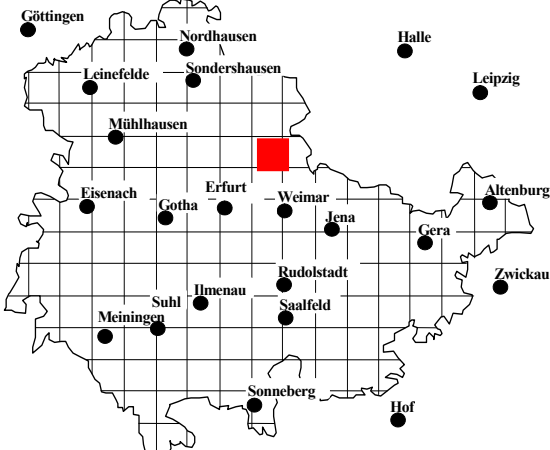
Abb. 8: Epitaph im Mauerwerk der Kirche (1496)

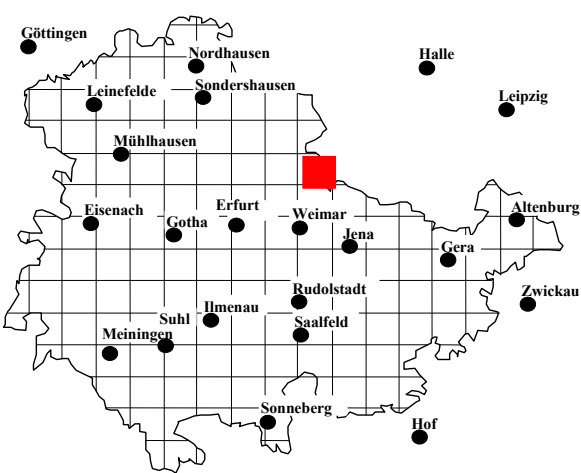
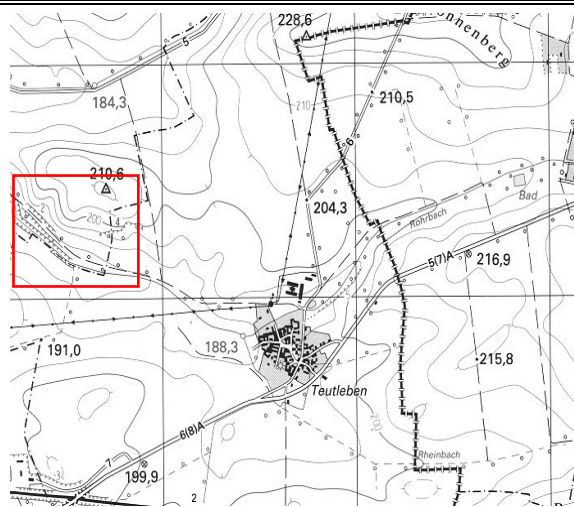
Steinbruch Straußfurt		Nr. 4832-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Sömmerda	Unterer Keuper	ku
Nr.	4832	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 70 250		
Rechtswert	44 30 750		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 500 m nordöstlich von Straußfurt 		<ul style="list-style-type: none"> - im Steinbruch keine - Abbruchmaterial aus Straußfurt, Probe SFA 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Langgestreckte hohe Handlage östlich eines Baches mit vielen böschungsartigen Stufungen und Mulden, die die ehemaligen Steinbrüche markieren (Lehnbrüche) - Steinbrüche verfallen und verwachsen - alter Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - beschrieben als flache, nicht ständig genutzte Steinbrüche (SCHMID 1873) 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 37 Fuß (11,6 m) sandige Schichten - unten ca. 15 Fuß (4,7 m) dickbänkiger Sandstein (SCHMIDT 1873) - Bankmächtigkeit 0,6-1,25 m (GRÄBE 1978) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: im Gebäudebestand überwiegend graugrün, vereinzelt auch rotbraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Straußfurt: Kirche (16. Jh.) und Gebäude - Epitaph an der Kirche in Straußfurt (1484) - Wundersleben: Kirche (18. Jh.) und Gartenmauern 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.07 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	




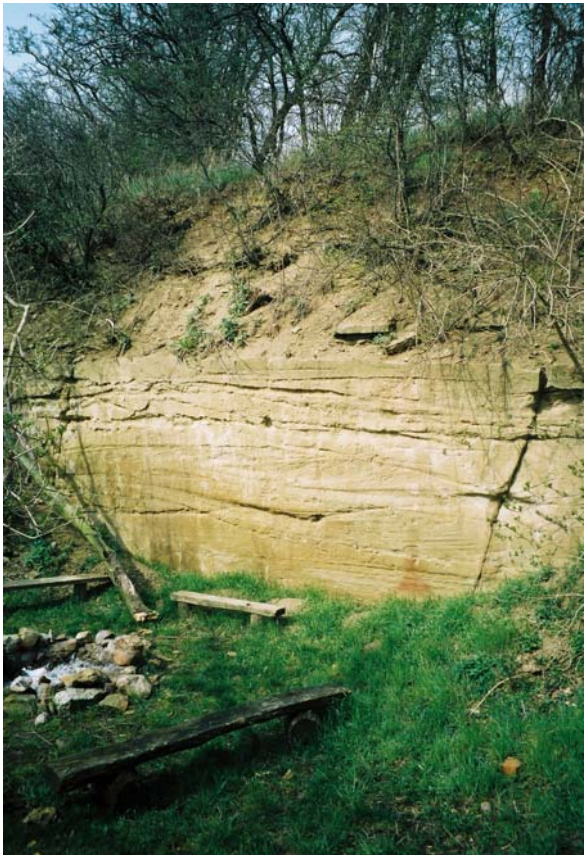
Steinbruch Straußfurt		Nr. 4832-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Steinbruch an einer Böschung	Abb. 2: Steinbruch, verwachsen, Baumbestand	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Kirche in Straußfurt (16. Jh.)	Abb. 2: Gartenmauer in Wundersleben	
		
Abb. 3: Kirche in Straußfurt, Epitaph (1484)	Abb. 4: Kirche in Wundersleben (18. Jh.)	






Steinbruch Vogelsberg		Nr. 4833-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Kölleda	Unterer Keuper	ku
Nr.	4833	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 66 000		
Rechtswert	44 46 425		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Alte Steinbrüche am Springberg - ca. 1.2 bis 1.7 km S von Vogelsberg oberhalb des Spring-Tals - auch angegeben für HW 56 65 150 und RW 44 46 400 		<ul style="list-style-type: none"> - Bedingt möglich - Probe aus den unteren Schichten des Aufschlusses, Probe VOB 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - mehrere kleine Steinbrüche, überwiegend verschüttet und zugewachsen - 1 Bruch direkt am Weg (siehe Abbildung) - obere Schichten aus Dolomit, untere Schichten aus Lettenkohlsandstein 		<ul style="list-style-type: none"> - 5 kleine Brüche auf geolog. Karte von 1873 eingetragen - um 1940-1950 stillgelegt (PATZELT 1996) 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Aufschluss Spring-Mühle (SCHMID 1873) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit 25 Fuß (9,4 m) - Oberste 6 Fuß roter, meist mürber Sandstein - darunter gelbe und graugelbe Sandsteine in Wechsellagerung mit kohligem Letten 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: vorwiegend graugelb - Pflanzenreste sind häufig 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Steine wurden zu Quadern, Platten, Trögen verarbeitet. Die roten Steine sollen sich gut zur Verwendung für Backöfen und Feuerstellen geeignet haben (SCHMID 1873). - Als Werk- und Bruchsteine im Ortsbild von Vogelsberg zu sehen 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.08 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

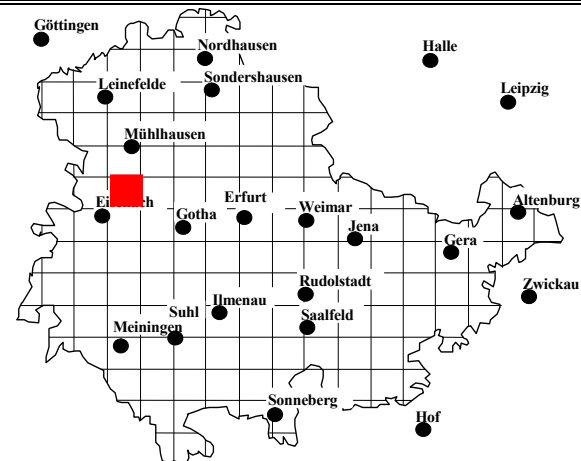
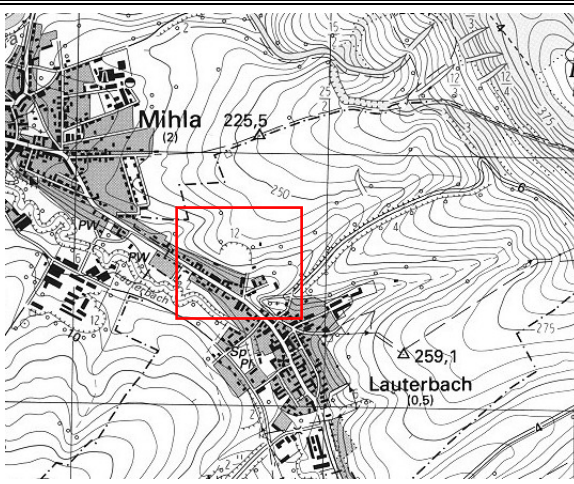
Steinbruch Vogelsberg		Nr. 4833-1
Abbildungen des Steinbruchs	Verwendungsbeispiele	
		
Abb. 1: Steinbruch oberhalb der Straße	Abb. 4: Toreinfahrt in Vogelsberg	
		
Abb. 2: Detail des Steinbruchs	Abb. 5: Schalenbildung an den Werksteinen	
		
Abb. 3: Anstehender Fels im Steinbruch	Abb. 6: Mauerwerk eines Hauses in Vogelsberg	

Steinbruch Orlishausen		Nr. 4833-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Kölleda	Unterer Keuper	ku
Nr.	4833	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 68 390		
Rechtswert	44 42 820		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1,4 und 1,5 km südwestlich von Orlishausen - ca. 1,25 und 2,5 km südwestlich von Orlishausen 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Bruch nicht mehr möglich - Probe aus Stein von der Kirchmauer in Orlishausen, Probe OLH 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbrüche nicht mehr zu erkennen - auch angegeben für HW 56 67 160 und RW 44 43 540 		<ul style="list-style-type: none"> - mehrere kleine Steinbrüche auf der Karte von 1873 verzeichnet 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - keine Angaben 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: braungelb 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirchmauer in Orlishausen, sonst im Ortsbild nicht präsent - Toreinfahrt in Backleben 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	

Steinbruch Teutleben		Nr. 4834-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Buttstädt	Unterer Keuper	ku
Nr.	4834	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 67 300		
Rechtswert	44 60 850		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 1 km WNW von Teutleben oberhalb des Rohrbaches 		<ul style="list-style-type: none"> - Material aus mittlerem Abschnitt, Probe TEU 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - mehrere Steinbrüche am Nordhang eines kleinen Baches, erstrecken sich in drei Abschnitten von Ost nach West - Östlicher und mittlerer Teil noch mit sichtbaren Felsen, westlicher Abschnitt nur Böschung - Alle drei Abschnitte teilweise verfüllt und stark bewachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - auf der geolog. Karte von 1872 sind zwei große Steinbrüche verzeichnet 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit 7,5 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: grünlichgrau, olivgrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauer- und Werksteine - Gebäude in Teutleben, Eßleben - Stein im Ortsbild präsent 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1872) - Steinbruch 1.12.09 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Teutleben		Nr. 4834-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Teutleben, Steinbruch		Abb. 2: Teutleben, Steinbruch
		
Abb. 3: Teutleben, Steinbruch		Abb. 4: Teutleben, Steinbruch

Steinbruch Teutleben		Nr. 4834-1
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Teutleben, Toreinfahrt und Einfriedung	Abb. 2: Teutleben, Einfriedung, Detail	
		
Abb. 4: Teutleben, Scheune	Abb. 3: Teutleben, Scheune, Detail	
		
Abb. 4: Teutleben, Einfriedung, Detail	Abb. 6: Eßleben, Ehemalige Mühle	

Steinbruch Lauterbach		Nr. 4928-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Mihla	Unterer Keuper	ku
Nr.	4928	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 60 580		
Rechtswert	35 94 650		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 200 m NW der Kirche, am Ortsrand von Lauterbach - auch angegeben für HW 56 61 006 und RW 43 84 421 		<ul style="list-style-type: none"> - Gut zugängliches Steinbruchareal mit guten Entnahmemöglichkeiten - rotbrauner Sandstein, Probe LBR, gelbgrüner Sandstein, Probe LBG 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Großer Bruch mit ca. noch 10 m sichtbarer Bruchwand, - als Naturdenkmal ausgewiesen - untere Bereiche (ca. 5 m) mit Müll verfüllt 		<ul style="list-style-type: none"> - Ehemaliger „Schlothauerscher“ Steinbruch (1856-1945) - Bruch wurde auch noch nach dem 2. WK bis in die 1960er Jahre sporadisch genutzt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<p>Laut NAUMANN (1904) und HOPPE (1939) gehört der Sandstein zum Hauptsandstein</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mächtigkeit 10-15 m - mehrere Lagen, die von senkrechten Klüften durchsetzt sind - seitlich nimmt das Sandsteinlager rasch an Mächtigkeit ab 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: In den oberen Schichten braungelb, graugelb, in den unteren (jetzt verfüllten) Schichten rotbraun, violettbraun, dazwischen alle Farbnuancen - Der rotbraune Stein wird als „ziemlich fest“ beschrieben, an Objekten wird er sogar als Sockelstein verwendet. Der gelbbraune Stein ist an Objekten stärker geschädigt 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - als Mauerstein, Werkstein, für Tröge - Sockel in Berka v.d.H., Lauterbach, Bischofroda - Kirche (14. Jh.) und Schloss in Bischofroda - Kirche (18. Jh.) in Krauthausen 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.10 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (NAUMANN 1904) - HOPPE (1939), KATZSCHMANN (2006) 	

Steinbruch Lauterbach

Nr. 4928-1

Abbildungen des Steinbruchs



Abb. 1 und 2: Steinbruch Lauterbach, von West...



Abb. 3 und 4: Steinbruch Lauterbach, ...nach Ost



Abb. 5: Detail der Bruchwand



Abb. 6: Detail der Bruchwand

Steinbruch Lauterbach

Nr. 4928-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Bischofroda, Kirchturm (14. Jh.)

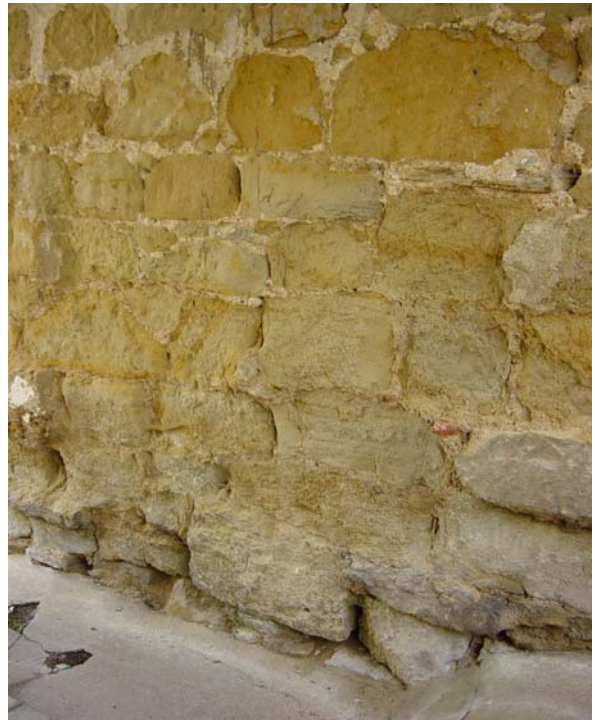


Abb. 2: Bischofroda, Durchgang zum Schloss



Abb. 3: Bischofroda, Schloss, Sockel



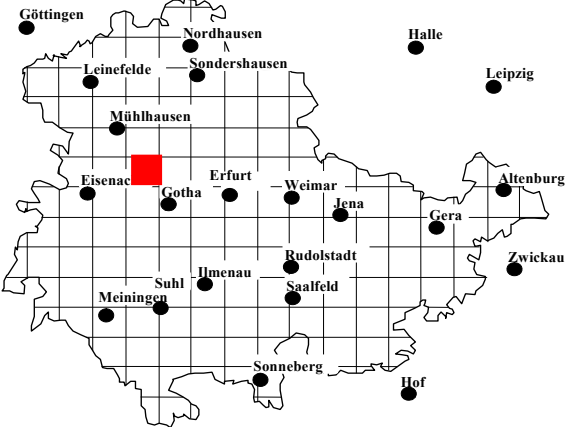
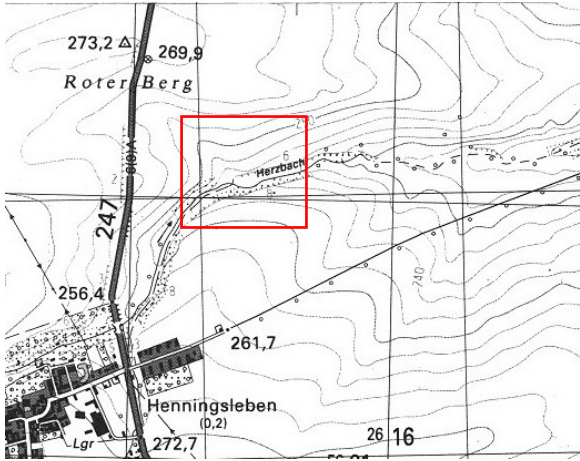
Abb. 4: Bischofroda, Schloss, Sockel







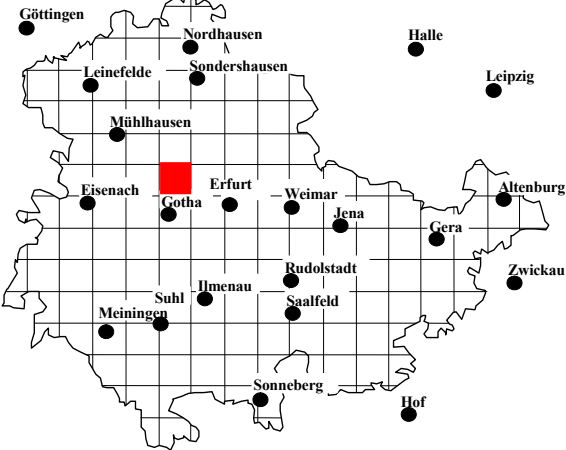
Abb. 5: Berka v.d. Hainich, Gebäudesockel

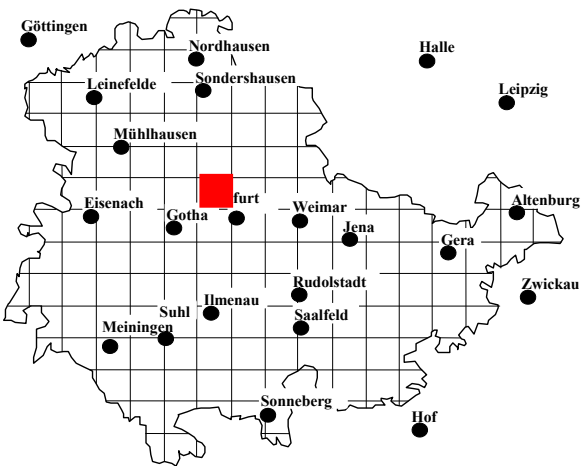
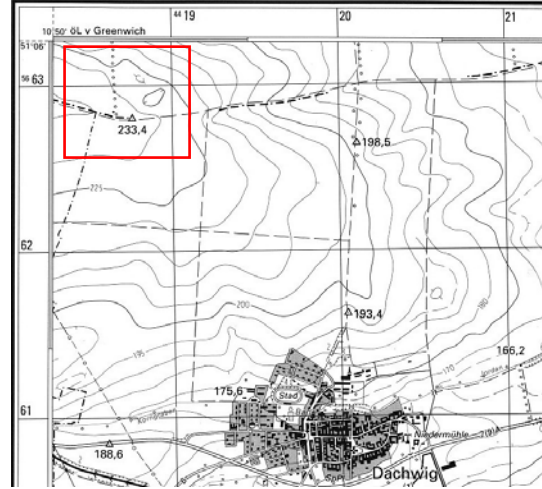






Abb. 6: Berka v.d. Hainich, Detail des Sockels

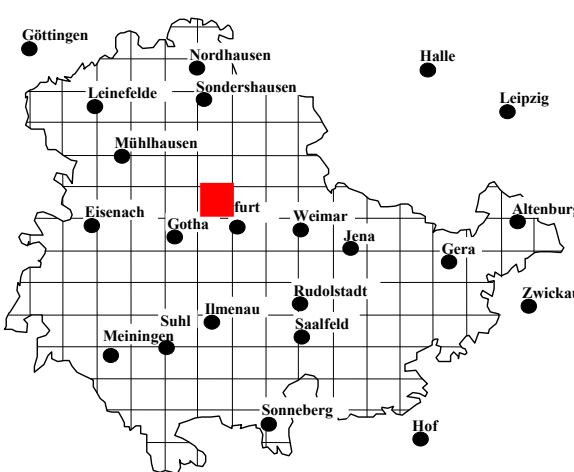
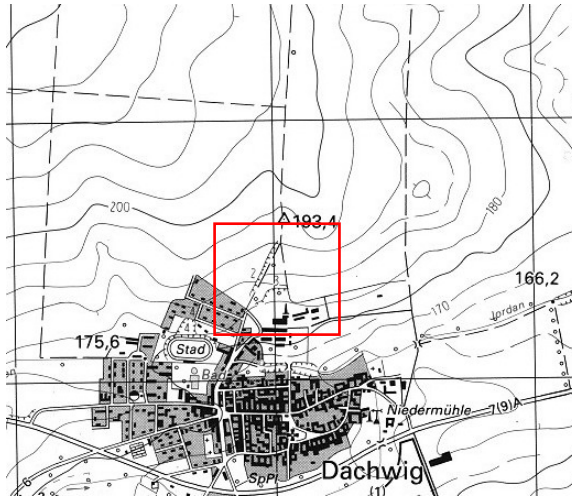
Steinbruch Henningsleben		Nr. 4929-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Behringen	Unterer Keuper	ku
Nr.	4929	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 61 290		
Rechtswert	44 05 380		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1 km NE von Henningsleben, am Roten Berg - Östlich dieses Bruchs gab es einen weiteren, kleineren Steinbruch - HW 56 61 300 und RW 44 06 340 		<ul style="list-style-type: none"> - im Bruch keine - gelbbrauner Stein aus Bauschutt, Probe HLB - Rotbrauner Stein aus einer Stützmauer in Illeben, Probe HLI 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Ehemals großer Bruch vollständig verhüllt, Müllkippe - kleinerer, östlicher Bruch eingeebnet 		<ul style="list-style-type: none"> - der westliche Bruch wird als der größere und ältere beschrieben - beide Brüche waren 1905 noch zu sehen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - laut NAUMANN (1905) gehört der Sandstein zum Hauptsandstein - Mächtigkeit 12-15 m, stark wechselnd - im Steinbruch waren ca. 10 m aufgeschlossen 		<ul style="list-style-type: none"> - im westlichen Bruch war der Stein tiefviolett, braunrot - oft rostgelb punktiert - oft parallel zur Schichtung hell und dunkel gebändert, Diagonalschichtung, dadurch Gewinnung größerer Blöcke eingeschränkt - im östlichen Bruch mehrere Bänke, teils tiefrot, blassere, fast weiße Farben 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauer- und Werksteine - Tröge und Bodenplatten - In Illeben (Nachbarort) bildet der Stein das Mauerwerk der verputzten Kirche (16. Jh.) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (NAUMANN 1905) 	

Steinbruch Henningsleben		Nr. 4929-1
Abbildungen des Steinbruchs	Verwendungsbeispiele	
		
Abb.: 1: Mit Müll verfüllter westlicher Steinbruch	Abb. 3: Illeben, Kirche (16. Jh.), Fenstergewände	
		
Abb.: 2: Eingeebeter östlicher Steinbruch	Abb. 4: Illeben, Kirche, Detail Mauerwerk	

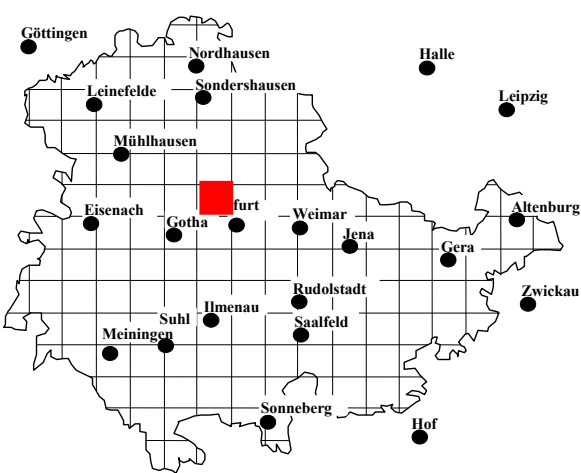
Steinbruch Eckardsleben		Nr. 4930-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gräfentonna	Unterer Keuper Lettenkohlsandstein	ku
Nr.	4930		kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 59 520		
Rechtswert	44 07 350		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - SSW von Eckardsleben - 5 kleine Brüche 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Aufschluss nicht mehr auffindbar 		<ul style="list-style-type: none"> - In der Karte von 1880 eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (1880) 	

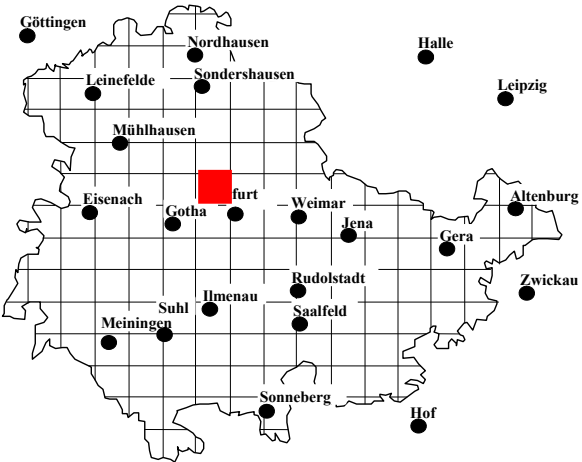
Steinbruch Herbsleben „Am heimlichen Gericht“		Nr. 4931-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4931	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 62 830		
Rechtswert	44 18 700		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Am „Heimlichen Gericht“ 2.5 km SE von Herbsleben, am Feldweg nach Dachwig 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch völlig eingeebnet 		<ul style="list-style-type: none"> - In der Karte von 1883 eingetragen und beschrieben 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Profil am „Heimlichen Gericht“ (SPEYER 1883) <ul style="list-style-type: none"> - 1.88 Sandstein - 0.05 m graue Lettenschicht - 0.63 m Sandstein - 0.10 m Letten - 0.31 m Sandstein - 0.05 m Letten - 0.16 m Sandstein - 0.013-0.03 m Letten - 0.63 m Sandstein - gelber Ockerdolomit 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: gelbgrün, graugrün, olivgrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Herbsleben: Kirche (15. und 17. Jh.), Schloss (16. Jh.), Schlossbrücke (17. Jh.) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883b) - Steinbruch 1.12.11 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

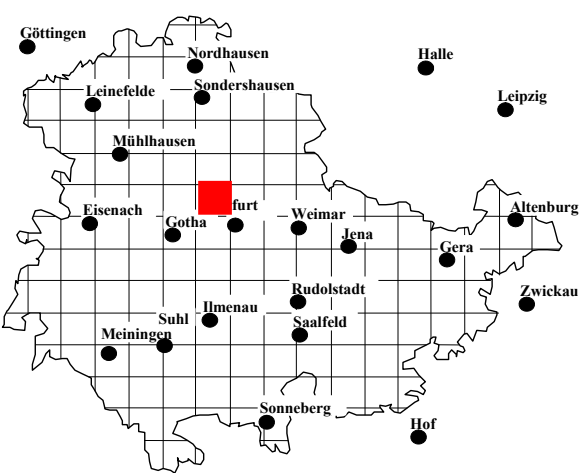
Steinbruch Herbsleben „Am heimlichen Gericht“	Nr. 4931-1
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte	
	
Abb. 1: Herbsleben, Schlossbrücke	Abb. 2: Herbsleben, Schlossbrücke
	
Abb. 3: Herbsleben, Kirche	Abb. 4: Herbsleben, Kirche
	
Abb. 5: Herbsleben, Kirche	Abb. 6: Herbsleben, Kirche

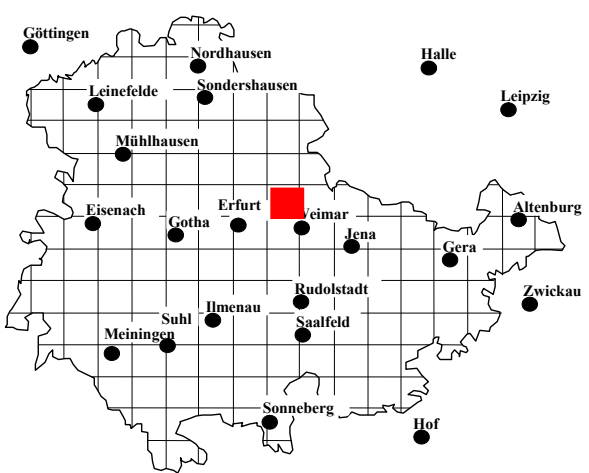
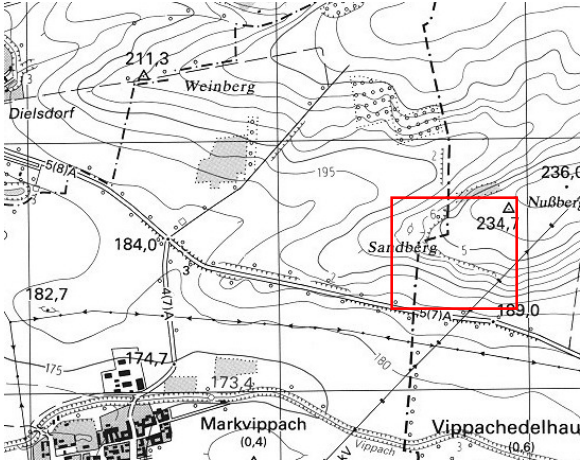
Steinbruch Dachwig		Nr. 4931-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt NW	Unterer Keuper Lettenkohlsandstein	ku
Nr.	4931		kuS2
Koordinaten		Lagebeschreibung <ul style="list-style-type: none">- an der alten Ziegelei- 500 m nördlich der Kirche	Probenentnahmemöglichkeit <ul style="list-style-type: none">- keine
Hochwert	56 61 275		
Rechtswert	44 20 000	Heutiger Zustand des Aufschlusses <ul style="list-style-type: none">- Bruch völlig eingeebnet	Geschichtliche Entwicklung <ul style="list-style-type: none">- nicht bekannt
Angaben zum Vorkommen			
Angaben nach SPEYER (1883) <ul style="list-style-type: none">- 0.63 m Löss- 1.57 m Sandsteinschutt- 3.77 m feste Sandsteinbänke		<ul style="list-style-type: none">- Farbe: graugrün, bräunlich	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none">- Mauer- und Werksteine in Dachwig- Gebäude in Dachwig		<ul style="list-style-type: none">- Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883b)- Steinbruch 1.12.12 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978)	



Steinbruch Dachwig		Nr. 4931-2
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Scheune in Dachwig	Abb. 2: Scheune in Dachwig	
		
Abb. 3: Gartenmauer in Dachwig, Sockel besteht aus dichten Kalksteinen		

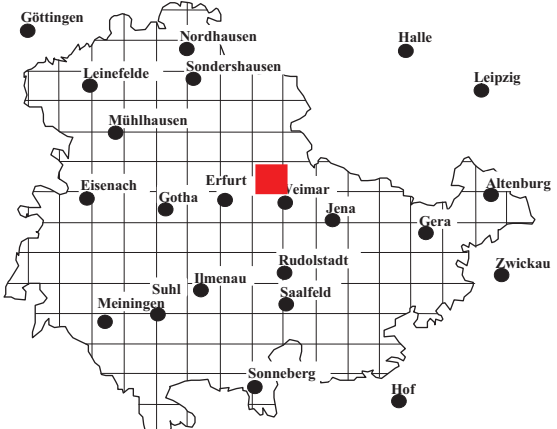
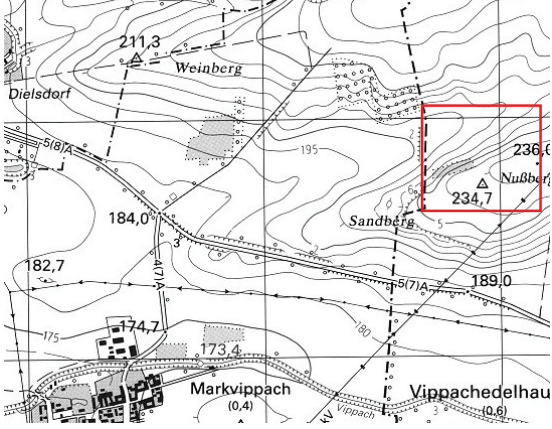
Steinbruch Kleinfahner		Nr. 4931-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4931	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 56 125		
Rechtswert	44 19 500		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - am Nonnenholz, 1.5 km ESE von Kleinfahner 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - vollständig verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Angaben nach SPEYER (1883) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit: 6.3 m - Bankmächtigkeit: 0.3-1.9 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, bräunlich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Im Ortsbild vordergründig nicht präsent (dafür Kalkstein, Rätsandstein, Travertin) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883b) - Steinbruch 1.12.13 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	


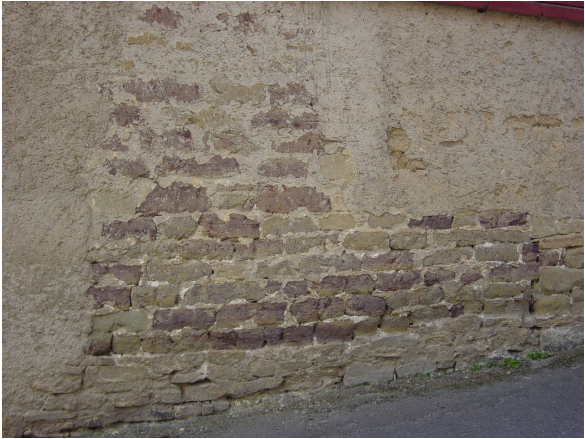

Steinbruch Witterda		Nr. 4931-4	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4931	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 56 000		
Rechtswert	44 21 750		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - am W-Rand von Witterda - auch angegeben für HW 56 56 200 und RW 44 21 900 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - vollständig verwachsen, Müllkippe 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Angaben nach SPEYER (1883) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit: 6.3 m - Bankmächtigkeit: 0.3-1.9 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, bräunlich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauer- und Werksteine - Sockel in Witterda (über Kalksteinlagen) - Im Ortsbild vordergründig nicht präsent (dafür Kalkstein, Rätsandstein, Travertin) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883b) - Steinbruch 1.12.14 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

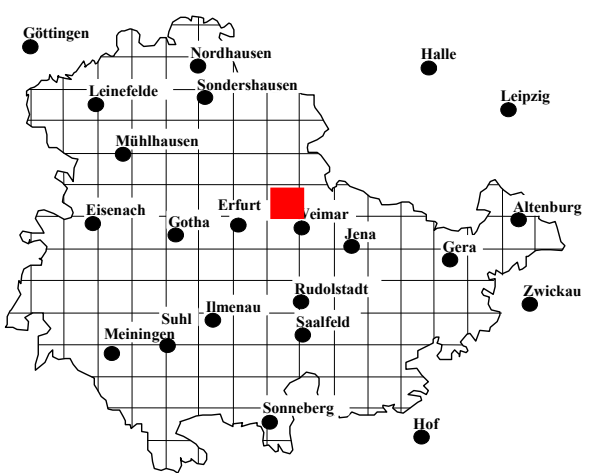
Steinbruch Tiefthal		Nr. 4931-5	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4931	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 55 000		
Rechtswert	44 25 625		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 700 m NW von Tiefthal - auch angegeben für HW 56 54 920 und RW 44 25 540 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - völlig verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Angaben nach SPEYER (1883) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit: 6.3 m - Bankmächtigkeit 0.3-1.9 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, bräunlich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Im Ortsbild vordergründig nicht präsent (dafür Kalkstein, Rätsandstein, Travertin) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SPEYER 1883b) - Steinbruch 1.12.15 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Dielsdorf		Nr. 4933-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4933	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 62 530		
Rechtswert	44 43 270		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1.6 km östlich von Dielsdorf, am S-Hang des Sandbergs 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Zwei Brüche, verfüllt und bewachsen, mit altem Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - In geolog. Karte von 1853 nicht eingetragen, aber in den Erläuterungen beschrieben 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<p>Laut SCHMID (1873)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit ca. 10 m (28,5 Fuß) - Bankmächtigkeit ca. 0.3 – 1.5 m (1-4 Fuß) - Oben 1 m (3,5 Fuß) Sandsteinschiefer - Schiefre Letten - Unten 1.3 m Festgestein (hart und eisenschüssig) - Schiefre Letten 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, gelbgrün, olivgrün, teilweise auch braungefleckt 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach, Kirche Vippachedelhausen (15. Jh.) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.16 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Dielsdorf		Nr. 4933-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Ehemaliger Steinbruch Dielsdorf	Abb. 2: Ehemaliger Steinbruch Dielsdorf	

Steinbruch Markvippach		Nr. 4933-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4933	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 61 420		
Rechtswert	44 43 670		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1.75 km NE von Markvippach am ehemaligen „Hagebruchschen Haus“ - auch angegeben für HW 56 61 420 und RW 44 43 670 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Bruch keine - Abrissmaterial aus Markvippach - Probe MVT, rot, braun getiegt - Probe MVG, gelbgrün - Probe MVR, rotbraun 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - sehr großer Steinbruch, heute völlig mit Müll verfüllt und mit Baumbestand bewachsen - Nördlich daneben kleinerer Bruch, ebenfalls völlig verfüllt und bewachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - Brüche auf geologischer. Karte von 1853 eingetragen und beschrieben. 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Laut SCHMID (1873) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit ca. 10 m (28,5 Fuß) - Bankmächtigkeit ca. 0.3-1.5 m (1-4 Fuß) - 1 m Lockergestein - 4.5 m Festgestein - Oberste Schichten tiefrot mit bräunlichen Flecken 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, gelbgrün, olivgrün, teilweise auch rotbraun, tiefrot und braunfleckig 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach (Kirche), Vippachedelhau (Kirche), Thalborn 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.17 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Markvippach		Nr. 4933-2
Abbildungen des Steinbruchs	Verwendungsbeispiele	
		
Abb. 1: Markvippach, Ehemaliger Steinbruch	Abb. 3: Markvippach, Scheunenmauer	
		
Abb. 2: Markvippach, Ehemaliger Steinbruch	Abb. 4: Markvippach, Mauerwerk der Kirche	

Steinbruch Thalborn		Nr. 4933-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar NW	Unterer Keuper	ku
Nr.	4933	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 61 800		
Rechtswert	44 45 325		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1 km NE von Thalborn, am Kirschberg 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Bruch keine - Abrissmaterial aus Vippachedelhausen, Probe TLB 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch ist verfüllt und zugewachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - In geolog. Karte von 1853 nicht eingetragen, aber in den Erläuterungen beschrieben 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
Laut SCHMID (1873) <ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit ca. 10 m (28,5 Fuß) - Bankmächtigkeit ca. 0.3 – 1.5 m (1-4 Fuß) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, gelbgrün, olivgrün, teilweise auch braunrot und braungefleckt 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach, Kirche Vippachedelhausen (15. Jh.), Kirche Thalborn 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.18 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Thalborn

Nr. 4933-3

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte

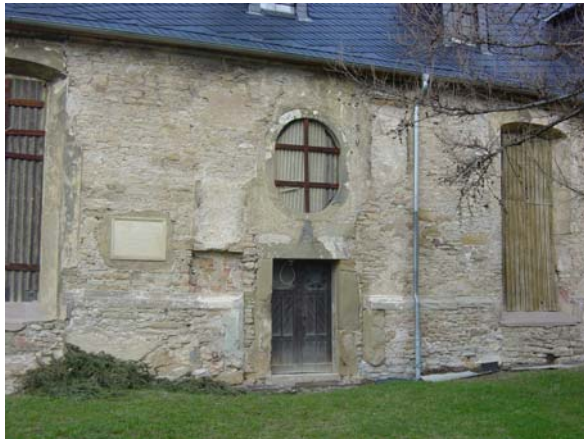


Abb. 1: Vippachedelhausen, Kirche (15. Jh.)



Abb. 2: Vippachedelhausen, Kirche



Abb. 3: Vippachedelhausen, Kirche



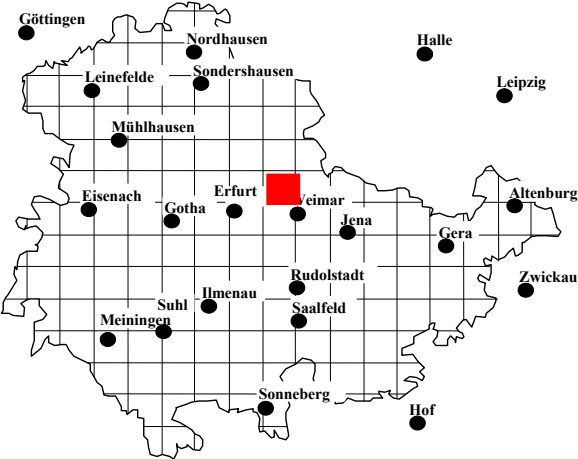
Abb. 4: Vippachedelhausen, Kirche

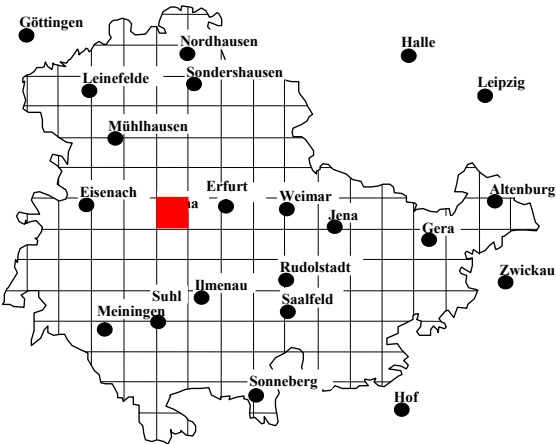
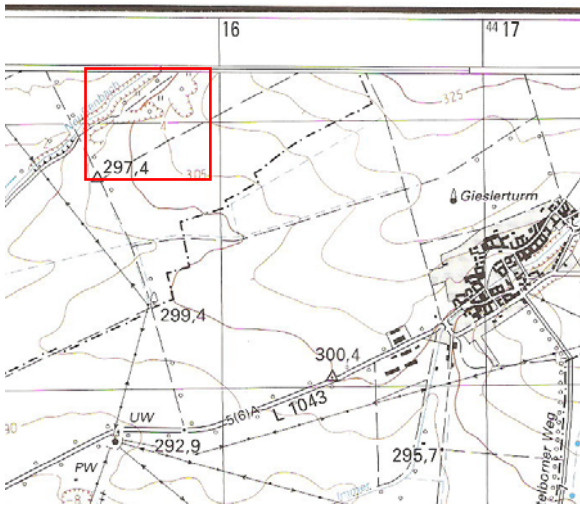


Abb. 5: Vippachedelhausen, Kirche

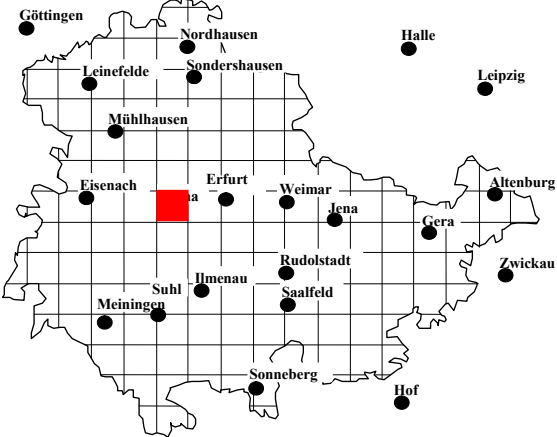
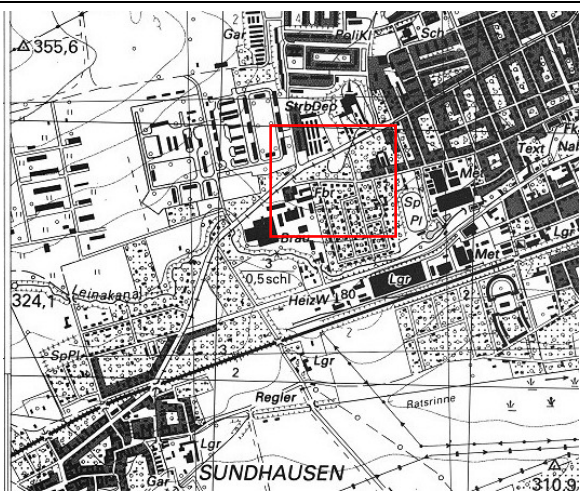


Abb. 6: Vippachedelhausen, Kirche

Steinbruch Haindorf		Nr. 4933-4	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar	Unterer Keuper	ku
Nr.	4933	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 61 900		
Rechtswert	44 52 500		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- Am NE-Rand von Haindorf		- keine	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Steinbruch nicht mehr vorhanden		- nicht bekannt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- Farbe: graugrün, gelbgrün, olivgrün, teilweise auch braunefleckt	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Steinbruch 1.12.19 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978)	

Steinbruch Tröchtelborn-Molschleben		Nr. 5030-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gotha	Unterer Keuper	ku
Nr.	5030	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 52 025		
Rechtswert	44 15 625		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1.4 km NW von Tröchtelborn (östlich der Sandmühle) - auch angegeben für HW 56 52 120 und RW 44 15 850 		<ul style="list-style-type: none"> - In den alten Steinbrüchen keine - Im neuen Steinbruch (Molschleben) aus Blöcken der Bruchsohle im NE-Bereich, Probe TRB 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - 2 alte, kleine Brüche, verfüllt, verwachsen mit altem Baumbestand, nur noch Mulden vorhanden - Unmittelbar SW daneben großer „neuer“ Steinbruch (Steinbruch „Molschleben“) - Bruch wird mit Bauschutt verfüllt 		<ul style="list-style-type: none"> - der geolog. Karte von 1889 mehrere kleine Brüche angegeben - In den Erläuterungen zur geolog. Karte von 1889 genannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch Molschleben im NE-Abschnitt mit oberen tonig- mergeligen Schichten, ca. 2 m stark, darunter steht Sandsteinfelsen an, der die momentane Sohle des Bruch bildet 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün mit kohligen Streifen - Verwitterungsverhalten: Geringe Wetter- und Frostbeständigkeit (WEISE 2002) 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Im Ortsbild nicht präsent (eher Rätsandstein) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (BAUER 1889) - Steinbruch 1.12.20 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - WEISE (2002) 	

Steinbruch Tröchtelborn-Molschleben		Nr. 5030-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Steinbruch Molschleben		Abb. 2: Steinbruch Molschleben
		
Abb. 3: Ehemaliger Steinbruch Tröchtelborn		Abb. 4: Ehemaliger Steinbruch Tröchtelborn

Steinbrüche Gotha „Toller Hund“ und „Roter Steinbruch“		Nr. 5030-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gotha	Unterer Keuper	ku
Nr.	5030	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 45 790		
Rechtswert	44 07 570		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 1.75 km SW des Gothaer Rathauses, zwischen Gotha und Sundhausen - Zwei Steinbrüche nördlich und südlich der Waltershäuser Straße 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Steinbruch keine - Im Rathaus Gotha, Probe THR - Haus zur güldenen Schelle, Probe THS 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - zugeschüttet, bebaut 		<ul style="list-style-type: none"> - vermutlich seit dem Mittelalter in Betrieb - Der südlichere Steinbruch war wesentlich größer und befand sich in dem Dreieck zwischen heutiger Waltershäuser und Reinhardtsbrunner Straße - Seit ca. 1900 still gelegt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - laut BAUER (1898) Mächtigkeit 11-15 m - oben rotbraune, unten graugelbe Ausbildung 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: rotbraun, violettbraun, braungelb 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauer- und Werksteine, Platten, Tröge - Bruchsteinmauern und Kellergewölbe fast aller Gebäude am Gothaer Hauptmarkt - Rathaus, Waidspeicher Gretengasse - Apotheke Marktstraße 13 (17. Jh.) - Margaretenkirche (1494) - Mykeniushaus - Schloss Friedenstein, Arkadenbögen (1643) 		<ul style="list-style-type: none"> - Flurkarte von 1730 (Staatsarchiv Gotha, Karte T 10/1) - Messtischblatt von 1855 (Staatsarchiv Gotha, Karte 200/9) - Geologische Karte mit Erläuterungen (BAUER 1889) - Steinbruch 1.12.21 der Kartei des IfD - HOPPE (1939), WEISE (2002) 	

Steinbrüche Gotha „Toller Hund“ und „Roter Steinbruch“

Nr. 5030-2

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Gotha, Schloss Friedenstein (1643)



Abb. 2: Gotha, Schloss Friedenstein, Arkaden



Abb. 3: Gotha, Mykeniushaus



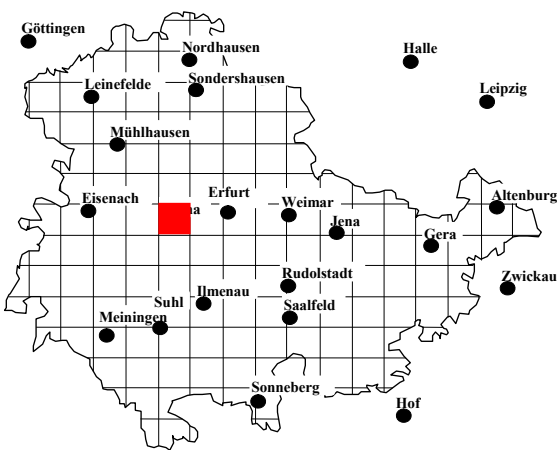
Abb. 4: Gotha, Rathaus (innen)

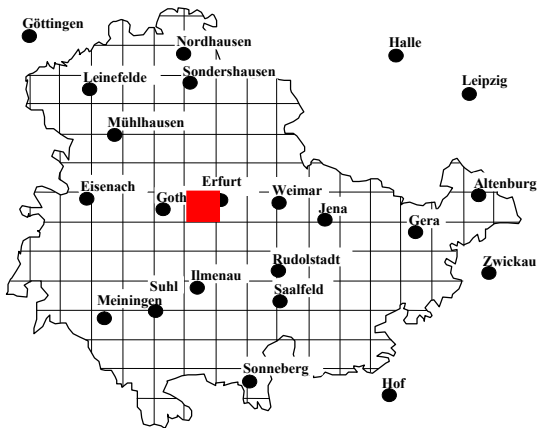
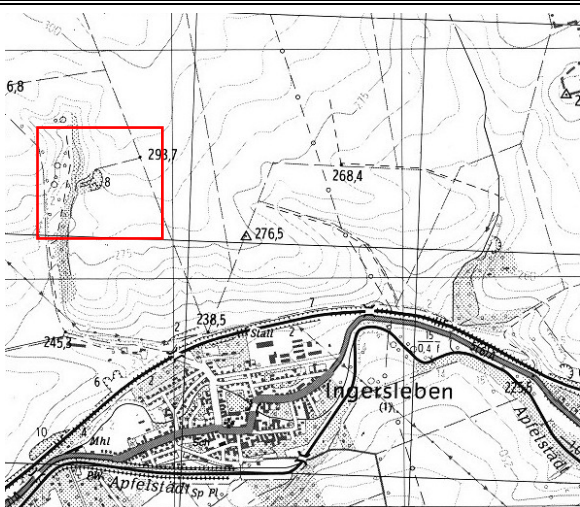


Abb. 5: Gotha, Mauern an der Studnitzpyramide



Abb. 6: Gotha, Schlossstraße, Gartenmauer

Steinbruch Tüttleben		Nr. 5030-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Gotha	Unterer Keuper	ku
Nr.	5030	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 45 770		
Rechtswert	44 15 890		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- ca. 1km SE von Tüttleben		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- in der geolog. Karte von 1889 genannt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht möglich		- nicht bekannt	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Geologische Karte mit Erläuterungen (BAUER 1889)	

Steinbruch Ingersleben		Nr. 5031-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt W	Unterer Keuper	ku
Nr.	5031	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 44 450		
Rechtswert	44 24 675		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 1.25 km NW von Ingersleben, am östlichen Rand des Frankenthals 		<ul style="list-style-type: none"> - gut möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Großer Bruch mit bis zu 6 m hohen Wänden - Untere Bereiche verwachsen, Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - Seit dem Mittelalter in Betrieb 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, graugrün, graugelb, gelbbraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Ingersleben Kirche (14. Jh.) - Ingersleben Rittergut (1609) - Ingersleben, Brücke über die Apfelstädt - Mauerwerk mehrerer Gebäude 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID & ZIMMERMANN 1889) - Steinbruch 1.12.22 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - PATZELT (1996), MÄDLER (1998), WEISE (2002), KATZSCHMANN ET AL. (2006) 	

Steinbruch Ingersleben

Nr. 5031-1

Abbildungen des Steinbruchs



Abb. 1: Steinbruch Ingersleben



Abb. 2: Steinbruch Ingersleben



Abb. 3: Steinbruch Ingersleben

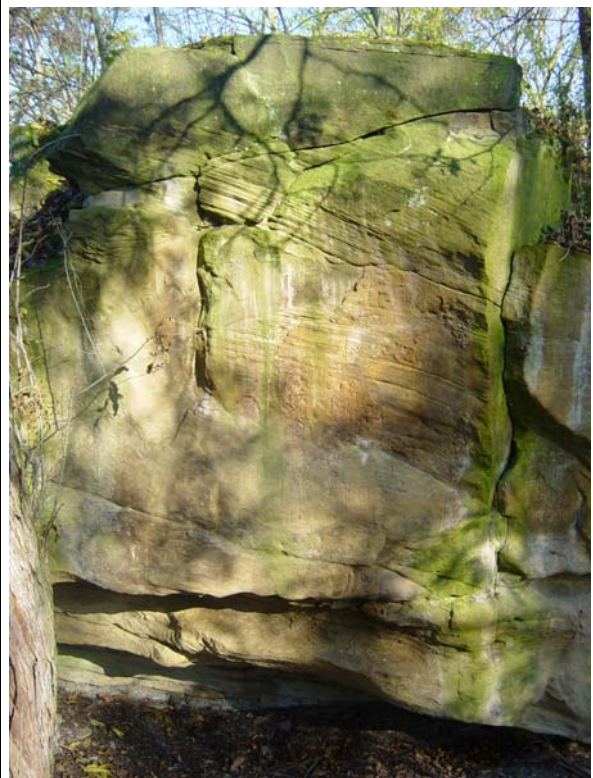


Abb. 4: Steinbruch Ingersleben

Steinbruch Ingersleben

Nr. 5031-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Ingersleben, Kirche, romanische Bauteile aus Lettenkohlensandstein im Giebel



Abb. 2: Schleifstein aus Ingerslebener Lettenkohlensandstein



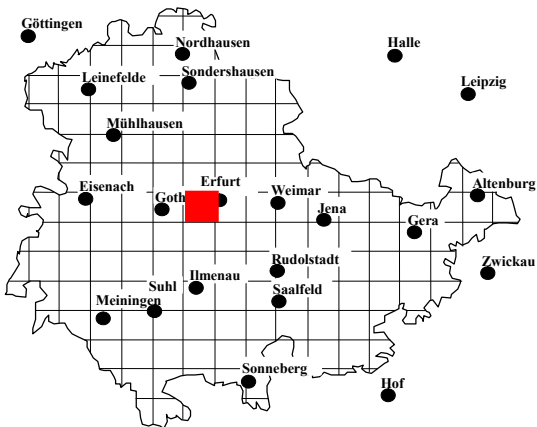
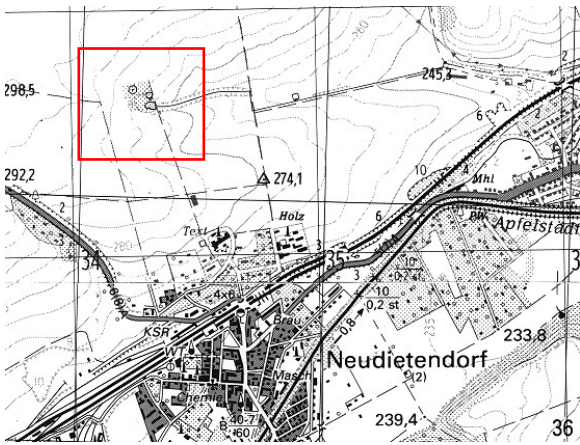
Abb. 3: Ingersleben, Kirchmauer, Torpfeiler



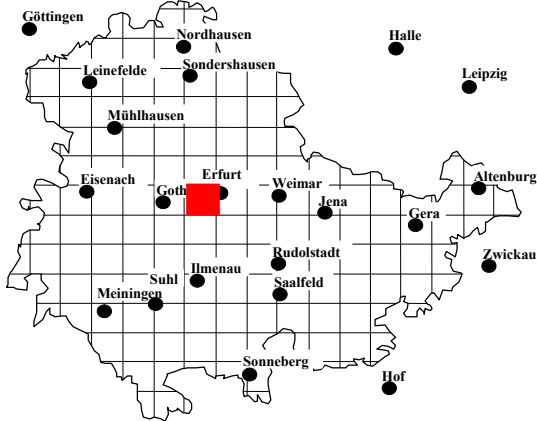
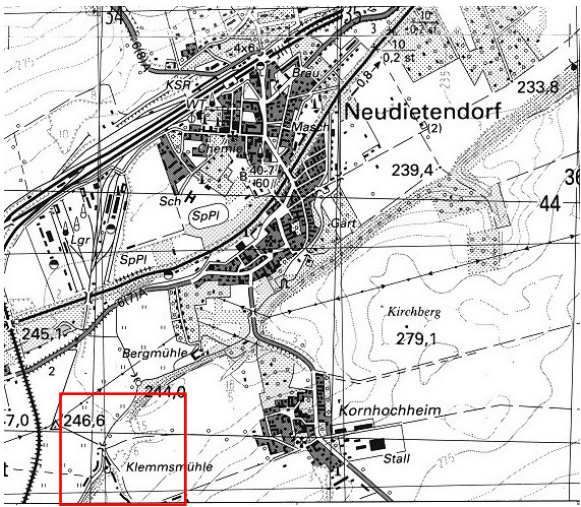
Abb. 5: Ingersleben, Detail Torpfeiler



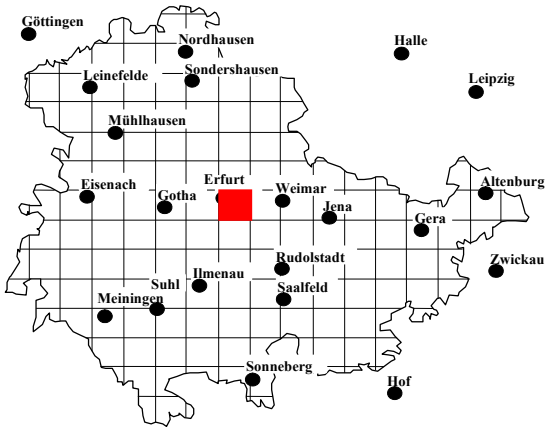
Abb. 4: Ingersleben, Brücke

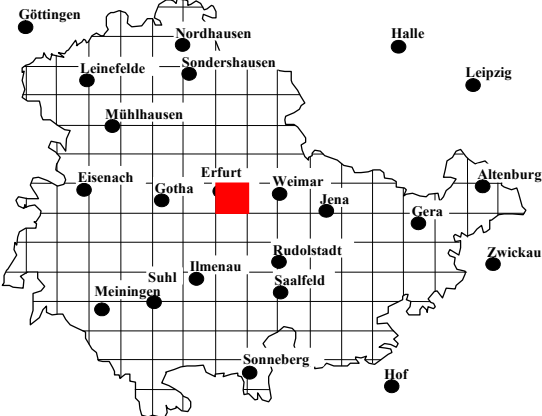
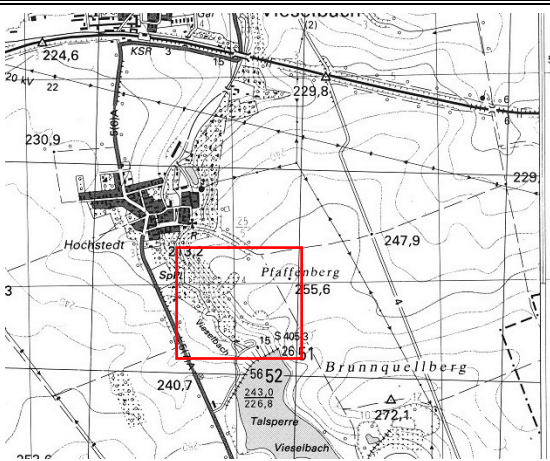
Steinbruch Neudietendorf		Nr. 5031-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt W	Unterer Keuper	ku
Nr.	5031	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 43 800		
Rechtswert	44 23 800		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 1.25 km N Neudietendorf - unter der heutigen Deponie 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - verfüllt - Deponie 		<ul style="list-style-type: none"> - Seit dem Mittelalter in Betrieb 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Neudietendorf: Gebäudemauern, Umfassungsmauer des Herrnhuter Friedhofs (1743) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID & ZIMMERMANN 1889) - Steinbruch 1.12.23 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - WEISE (2002) 	







Steinbruch Neudietendorf		Nr. 5031-2
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Ehemaliger Steinbruch Neudietendorf	Abb. 2: Ehemaliger Steinbruch Neudietendorf	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Neudietendorf, Herrnhuter Friedhof	Abb. 2: Detail Friedhofsmauer	
		
Abb. 3: Neudietendorf, Gebäudesockel	Abb. 4: Neudietendorf, Sockel, Detail	

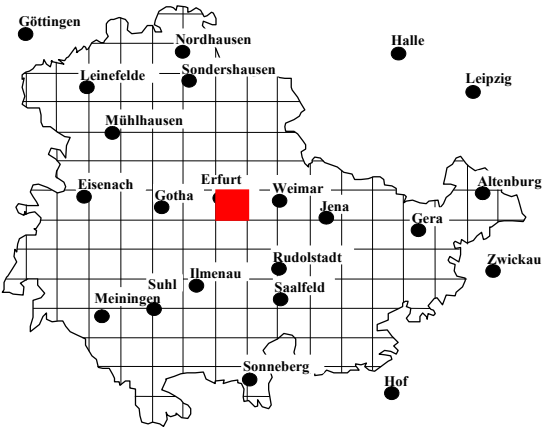
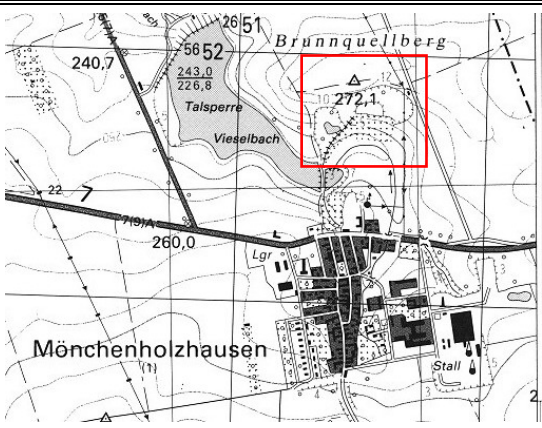
Steinbruch Kornhochheim		Nr. 5031-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt W	Unterer Keuper	ku
Nr.	5031	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 41 270		
Rechtswert	44 23 120	Lagebeschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> - 1.2 km westlich von Kornhochheim, bei der „Klemms-Mühle“ 		Probenentnahmemöglichkeit	
Heutiger Zustand des Aufschlusses <ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch zugeschüttet - Reste von anstehendem Fels direkt an der Klemms-Mühle 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Steinbruch nicht mehr möglich - An Felswänden hinter der Klemms-Mühle bedingt möglich - Steinbrocken vom Fuß des Hangs, Probe KLM 	
		Geschichtliche Entwicklung	
Angaben zum Vorkommen <ul style="list-style-type: none"> - Langgezogene Steinbrüche an einer Hangkante 		<ul style="list-style-type: none"> - Seit dem Mittelalter bis ins erste Drittel des 20. Jh 	
Verwendungsbeispiele		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirche in Kornhochheim (1701) - Garten- und Gebäudemauern in Kornhochheim und den umliegenden Orten - Burg Gleichen - Innenmauerwerk der Kirche in Apfelstädt (1396) - Epitaph an der Kirche in Wandersleben 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, z.T. schmutzigbraun 	
		Literatur / Quellen / Hinweise	
		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID & ZIMMERMANN 1889) - Steinbruch 1.12.24 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978), - SEIPP (1935), WEISE (2002) 	

Steinbruch Kornhochheim		Nr. 5031-3
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: An der „Klemms Mühle“	Abb. 2: Fortsetzung Bruchwand	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Kornhochheim, Einfriedung	Abb. 2: Kornhochheim, Pfeiler	
		
Abb. 3: Wandersleben, Kirche, Detail Epitaph	Abb. 4: Detail Epitaph	

Steinbruch Vieselbach		Nr. 5032-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5032	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 50 900		
Rechtswert	44 40 800		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - an der Nordflanke des Högelsberges - 1.2 km SE Vieselbach 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Aufschluss nicht mehr auffindbar 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, schmutzigbraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.25 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Hochstedt		Nr. 5032-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5032	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 49 980		
Rechtswert	44 39 980		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 3 Brüche 500 bis 700 m SE von Hochstedt, oberhalb des Vieselbaches - auch angegeben für: - HW 56 49 860 und RW 44 40 120 - HW 56 50 101 und RW 44 39 960 		<ul style="list-style-type: none"> - bedingt möglich - Aus dem östlichsten Bruch von herumliegenden Steinen, Probe HST 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Nördlichster Bruch schlauchförmig verwachsen, mit jungem Baumbestand - Östlicher, oberer Bruch noch mit sichtbarem Fels, ca. 5 m hoch, im unteren Bereich große Blöcke - Südlicher, unterer Bruch groß, halbkreisförmig, verwachsen, mit altem Obstbaumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, braungrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäude und Mauern in Hochstedt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.26 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Hochstedt		Nr. 5032-2
Abbildungen des Steinbruchs	Verwendungsbeispiele	
		
Abb. 1: Östlicher Bruch	Abb. 4: Hochstedt, Mauer	
		
Abb. 2: Östlicher Bruch	Abb. 5: Hochstedt, Detail der Mauer	
		
Abb. 3: Östlicher Bruch	Abb. 6: Hochstedt, Stallgebäude	

Steinbruch Mönchenholzhausen		Nr. 5032-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5032	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 48 820		
Rechtswert	44 41 230		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 200 m N vom Ortsrand Mönchenholzhausens 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - ehemaliger großer Steinbruch, bestehend aus zwei halbkreisförmigen Böschungen - verfüllt, junger Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - Auf geolog. Karte von 1996 als anthropogene Aufschüttung gekennzeichnet 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, leicht gelblich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäude, Scheunen und Brücke in Mönchenholzhausen 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	

Steinbruch Mönchenholzhausen		Nr. 5032-3
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1 und 2: Ehemaliger Steinbruch Mönchenholzhausen		
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Scheune in Mönchenholzhausen	Abb. 2: Toreinfahrt in Mönchenholzhausen	
		
Abb. 3: Bauinschrift am Torpfeiler von 1755	Abb. 4: Brücke in Mönchenholzhausen	

Steinbruch Erfurt		Nr. 5032-4	
		 <p>Erfurt, Daberstedter Schanze, Vogelschau von Samuel Fritz, 1678 (im Vordergrund Schießstand im ehemaligen Steinbruch)</p>	
Topographische Karte (M 1:25000) Blatt Erfurt Nr. 5032		Stratigraphie Mittlerer Keuper Schilfsandstein	Kürzel km kmS
Koordinaten Hochwert 56 ? Rechtswert 44 ?			
Lagebeschreibung - In ROBACK (1840) werden Brüche im „Gange“ der Schwedenschanze (siehe Abbildung) und am Fuße des Rothen Berges im Flur des Dorfes Gispersleben Viti beschrieben.		Probenentnahmemöglichkeit - Abbruchmaterial aus dem Ursulinenkloster in Erfurt - olivgrüner Sandstein, Probe UKG - rotbrauner Sandstein, Probe UKR	
Heutiger Zustand des Aufschlusses - überbaut		Geschichtliche Entwicklung - nicht bekannt	
Angaben zum Vorkommen - nicht möglich		Angaben zum Stein - Steine haben als Baustein nur wenig Wert, besitzen geringe Festigkeit, sind der Verwitterung stark unterworfen. Gleichwohl werden sie wegen der leichten Gewinnung und Verarbeitung als Mauersteine benutzt - Steine werden wegen der geringen Qualität als „Katzensandstein“ benannt (ROBACK 1840) - Verwendung der Steine als Mauermaterial für Backöfen und Feuerstätten beschrieben (ROBACK 1840)	
Verwendungsbeispiele - Im gesamten Altstadtbereich der Stadt Erfurt im Mauerwerk der Kellergewölbe und aufgehenden Mauerwerk der Gebäude sehr häufig verwendet - Alte Synagoge (14. Jh.) - Horn gasse 3 (14. Jh.) - Mauerwerk und Keller der Gebäude in der Futterstraße und Michaelisstraße - Pfeilermauerwerk der Krämerbrücke - Gewölbe des Kreuzganges im Erfurter Doms - Ursulinenkloster Erfurt		Literatur / Quellen / Hinweise - ROBACK (1840)	

Steinbruch Erfurt

Nr. 5032-4

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Erfurt, Horngasse 3 (14. Jh.)



Abb. 2: Erfurt, Alte Synagoge, Detail Westgabel



Abb. 3: Erfurt, Alte Synagoge, Westgabel



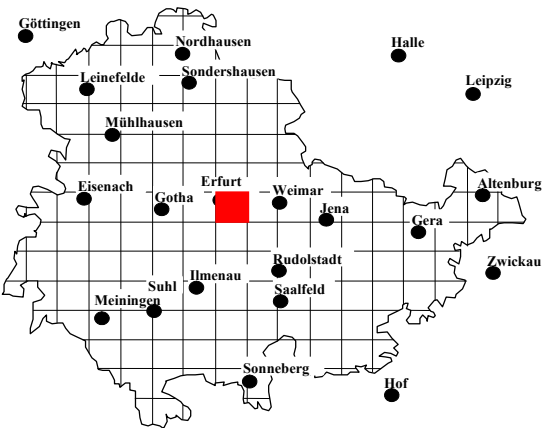
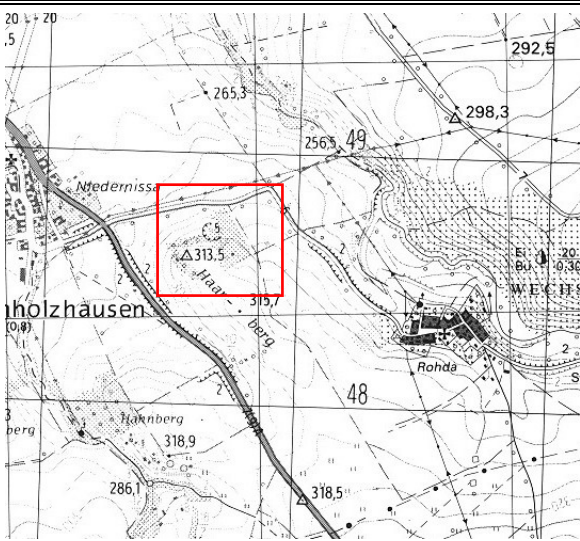
Abb. 4: Alte Synagoge, Detail Mauerwerk

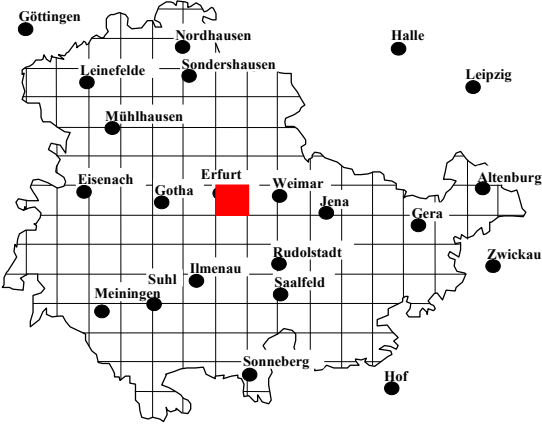


Abb. 5: Erfurt, Scheune im Andreasviertel

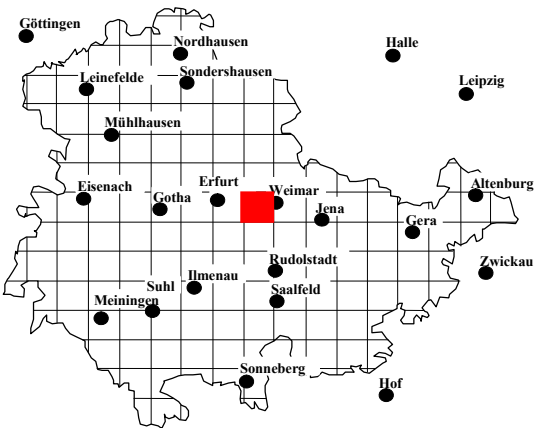
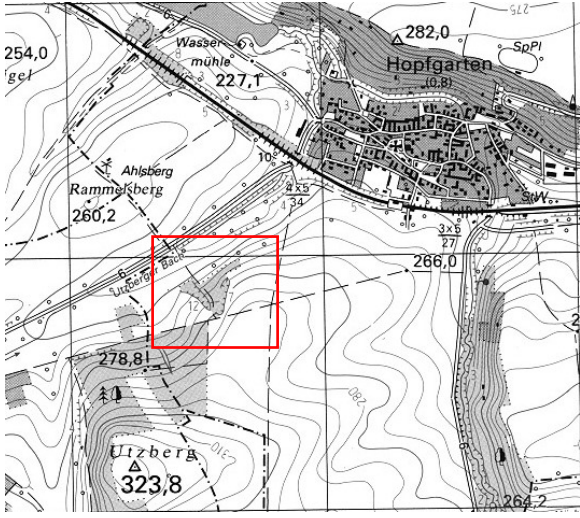


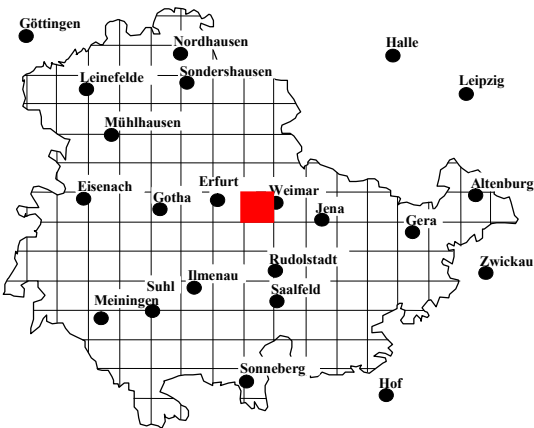
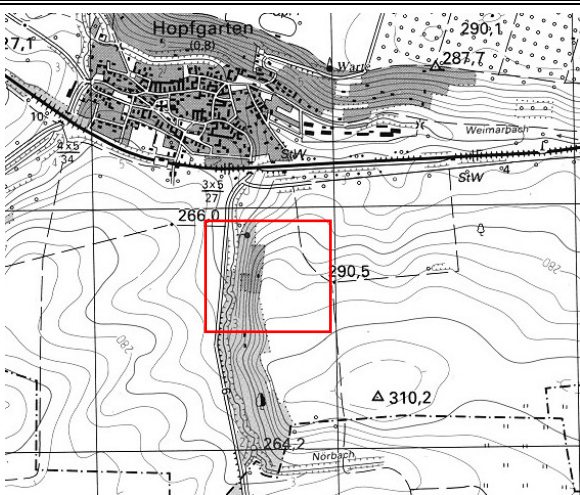
Abb. 6: Zitadelle Petersberg, Detail Mienengang

Steinbruch Niedernissa (Rhoda)		Nr. 5032-5	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5032	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 46 060		
Rechtswert	44 38 080		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 500 m SE von Niedernissa, südlich der Straße nach Rhoda, kurz vor der scharfen Rechtskurve 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - zwei ehemalige Steinbrüche, beide verfüllt (Bauschutt) und zugewachsen - mit alten Obstbäumen bewachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - Auf geolog. Karte von 1995 als anthropogene Aufschüttung gekennzeichnet 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	

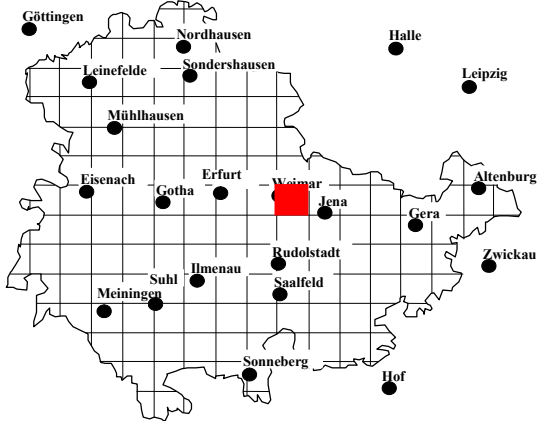
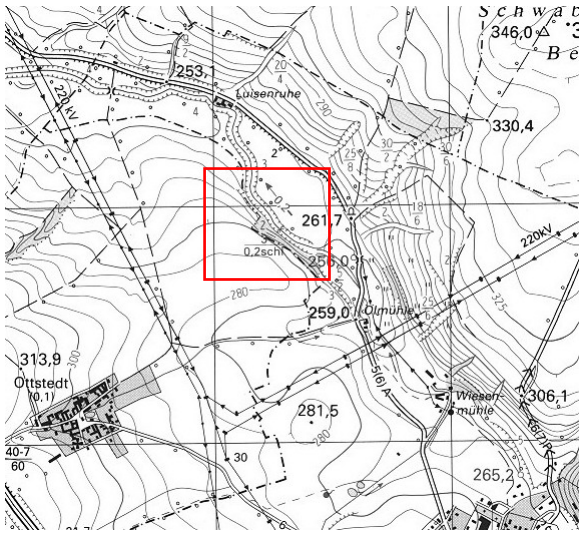
Steinbruch Rockhausen		Nr. 5032-6	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Erfurt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5032	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	56 41 790		
Rechtswert	44 32 030		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 750 m N von Rockhausen, direkt an der Bundesautobahn A 4 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht mehr möglich - großer Steinbrocken der Böschung der A4, Probe RKH 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch nicht mehr vorhanden, da neue Fahrspur der A 4 angelegt wurde. - Dabei wurde der Lettenkohlsandstein angeschnitten. 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, gelbgrün, gelbbraun 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirche (17. Jh.) in Rockhausen 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	





Steinbruch Rockhausen		Nr. 5032-5
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
<p>Abb. 1: Rockhausen, Kirche (17. Jh.)</p>	<p>Abb. 2: Rockhausen, Kirche, Chor</p>	
		
<p>Abb. 3: Rockhausen, Kirche, Fenstergewände</p>	<p>Abb. 4: Rockhausen, Friedhofsmauer Der untere Teil besteht aus Kalksteinen.</p>	

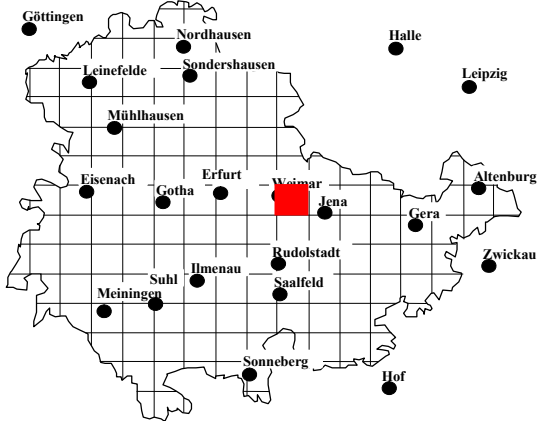
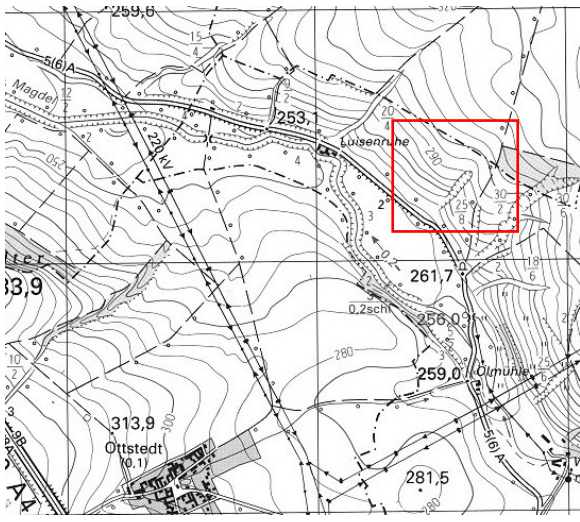
Steinbruch Hopfgarten SW		Nr. 5033-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar	Unterer Keuper	ku
Nr.	5033	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 49 800		
Rechtswert	44 44 500		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 700 m SW von Hopfgarten, am N-Hang des Utzberges 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Steinbruch keine - In Hopfgarten von der Einfriedung des Pfarrgartens, Probe HFG 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - vollständig verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - Bruch ist auf geolog. Karte von 1873 nicht mehr eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Hauptsandstein ca. 10 Fuß (SCHMID 1873) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: grünlichgrau, olivgrün, gelbgrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudebestand in Hopfgarten 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.27 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) 	

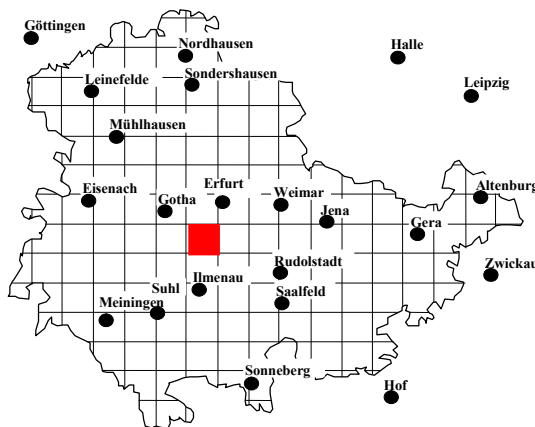

Steinbruch Hopfgarten SE		Nr. 5033-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar	Unterer Keuper	ku
Nr.	5033	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 49 750		
Rechtswert	44 46 500		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 700 m SSE von Hopfgarten, am Lohberg 		<ul style="list-style-type: none"> - In Hopfgarten von der Einfriedung des Pfarrgartens, Probe HFG 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch ist verwachsen und als Schießstand ausgebaut 		<ul style="list-style-type: none"> - Bruch ist auf der geolog. Karte von 1873 eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Hauptsandstein ca. 10 Fuß (SCHMID 1873) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: grünlichgrau, olivgrün, gelbgrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudebestand in Hopfgarten 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1873) - Steinbruch 1.12.28 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

Steinbruch Hopfgarten SE		Nr. 5033-2
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Schießstand im Steinbruch Hopfgarten		
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Hopfgarten, Gebäudesockel		Abb. 2: Hopfgarten, Gebäudemauer
		
Abb. 3: Hopfgarten, Torhaus mit Farbfassung		Abb. 4: Hopfgarten, Detail eines Torhauses

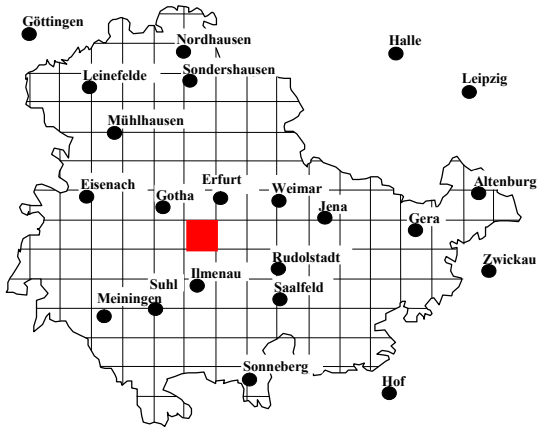
Steinbruch Magdala		Nr. 5034-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar O	Unterer Keuper	ku
Nr.	5034	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 43 000		
Rechtswert	44 60 150		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Am sog. „Felsenkeller“, südlich der Straße von Mellingen nach Magdala 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch nicht mehr auffindbar 		<ul style="list-style-type: none"> - Laut PATZELT (1995) wurde der Bruch 1939 stillgelegt - Laut geolog. Karte von 1872 soll es sich um einen Steinbruch innerhalb natürlicher Felsformationen gehandelt haben 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<p>Nach SCHMID (1872)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 12 Fuß Sandstein (4,5 m) unter 9,5 Fuß Mergel-Schiefer - Sandstein meist dünnstief, aber auch in 9 - 12 Zoll starken Schichten <p>Zwischen den Sandsteinen sehr dünne Lettenlagen</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: grünlichgrau 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Baustein, insbesondere für Feuerungen SCHMID (1872) - im Ortsbild von Magdala und Mellingen nicht präsent - untergeordnet im Chormauerwerk der Kirche in Magdala 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1872) - Steinbruch 1.12.29 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

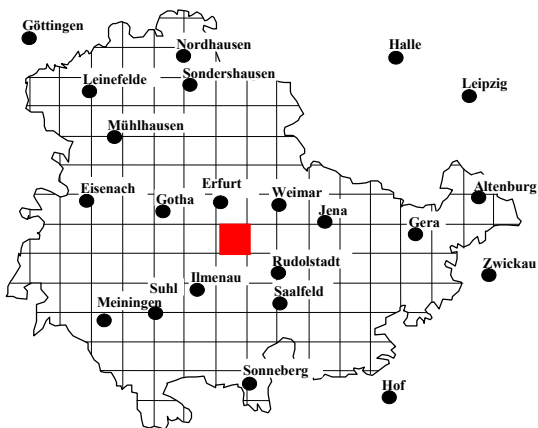
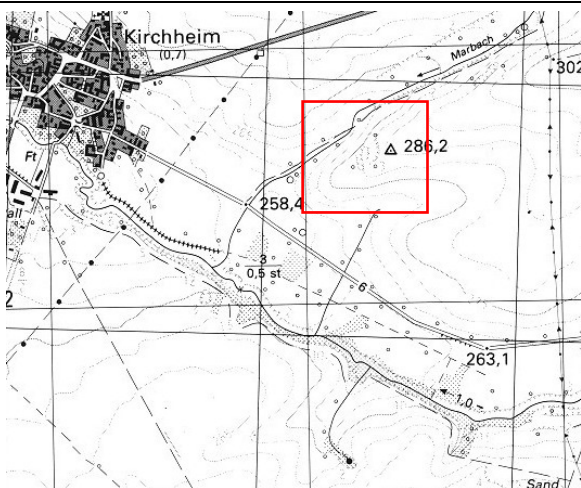
Steinbruch Magdala		Nr. 5034-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Am „Felsenkeller“ bei Magdala	Abb. 2: Aufschluss an der Straße zwischen Mellingen und Magdala	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Kirche Magdala, Mauerwerk Kalkstein	Abb. 2: Kirche Magdala, einzelne ältere Bauteile aus Lettenkohlsandsteinen im Mauerwerk	

Steinbruch Mellingen		Nr. 5034-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Weimar O	Unterer Keuper	ku
Nr.	5034	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 43 800		
Rechtswert	44 59 190		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 2.3 km E von Mellingen, nördlich der Straße von Mellingen nach Magdala 		<ul style="list-style-type: none"> - keine 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch zugeschüttet, verwachsen - an den Rändern alter Baumbestand 		<ul style="list-style-type: none"> - Ist in der geologischen Karte von 1872 eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: grünlichgrau 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - im Ortsbild von Magdala und Mellingen vordergründig nicht präsent - eventuell im Mauerwerk der Gebäude 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1872) 	

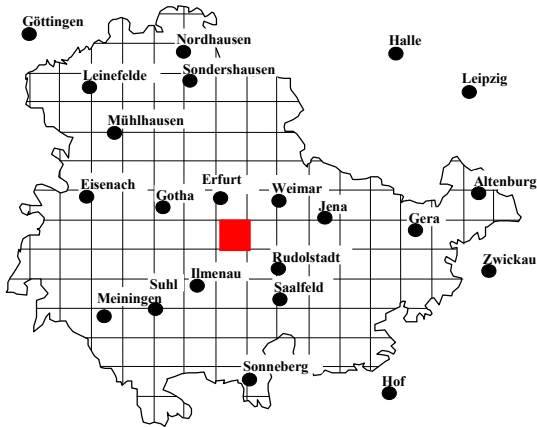
Steinbruch Eischleben		Nr. 5131-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Arnstadt	Unterer Keuper Lettenkohlsandstein	ku
Nr.	5131		kuS1
Koordinaten		Probenentnahmemöglichkeit	
Hochwert	56 40 020		
Rechtswert	44 29 590		
Lagebeschreibung		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none">- ca. 750 m NE von Eischleben, oberhalb des Baches		<ul style="list-style-type: none">- Im Bruch keine Abbruchmaterial, Probe ESL	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none">- großer, runder Bruch, beräumt aber Bruchwände bewachsen, Baumbestand- oberhalb neuer Zufahrt, die den Hang anschneidet, kleingliedriger Dolomit über stark zerklüfteten Sandstein sichtbar- wird als Steindeponie für Abbruchmaterial verwendet		<ul style="list-style-type: none">- Farbe: olivgrün	
Angaben zum Vorkommen		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none">- nicht möglich		<ul style="list-style-type: none">- Geologische Karte mit Erläuterungen	
Verwendungsbeispiele			
<ul style="list-style-type: none">- Gebäude in Eischleben			




Steinbruch Eischleben		Nr. 5131-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Steinbruch Eischleben	Abb. 2: Zufahrt zum Setienbruch	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Eischleben Friedensstraße	Abb. 2: Detail des Gebäudes Friedensstraße	
		
Abb. 3: Eischleben Mühlgasse	Abb. 4: Detail des Torpfeilers	

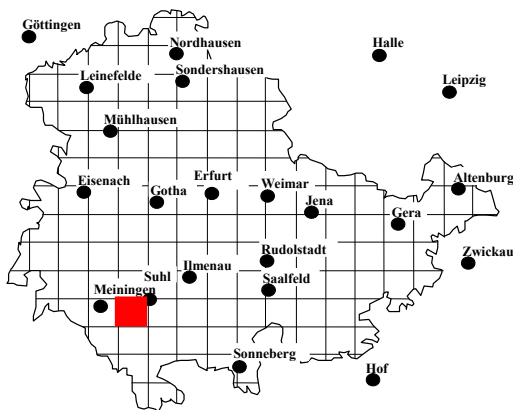
Steinbruch Molsdorf		Nr. 5131-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Arnstadt	Unterer Keuper	ku
Nr.	5131	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	56 39 350		
Rechtswert	44 27 100		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Im Bereich des heutigen Autobahnkreuzes Erfurt (Kreuzung A4 mit A71) 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht mehr möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch im Rahmen der Autobahnarbeiten zugeschüttet 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk von Gebäuden in Molsdorf 		<ul style="list-style-type: none"> - mündliche Information durch Dr. Katzschmann (TLUG), der den Steinbruch während der Bauarbeiten am „Erfurter Kreuz“ besucht und fotografiert hat 	

Steinbruch Kirchheim		Nr. 5132-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Marlishausen	Unterer Keuper	ku
Nr.	5132	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 38 600		
Rechtswert	44 32 259		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Am SE-Hang des Marbaches, 1km SE von Kirchheim 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Steinbruch keine - Abbruchmaterial, Probe KHH 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - länglicher Bruch, völlig verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - In der geologischen Karte von 1885 nicht mehr als Steinbruch eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht möglich 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, gelbgün, graugrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirchheim: Mauerwerk der Gebäude (meist verputzt), Torhaus - Gebäudebestand in Werningsleben 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1885) - Steinbruch 1.12.30 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

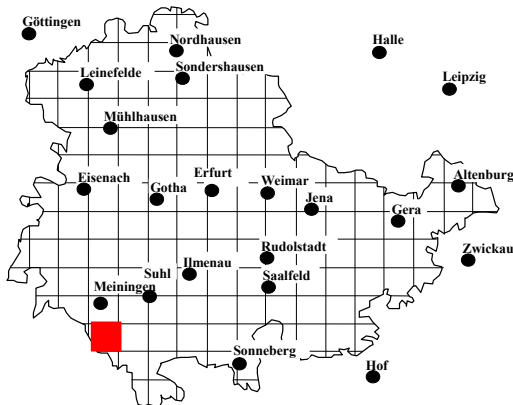
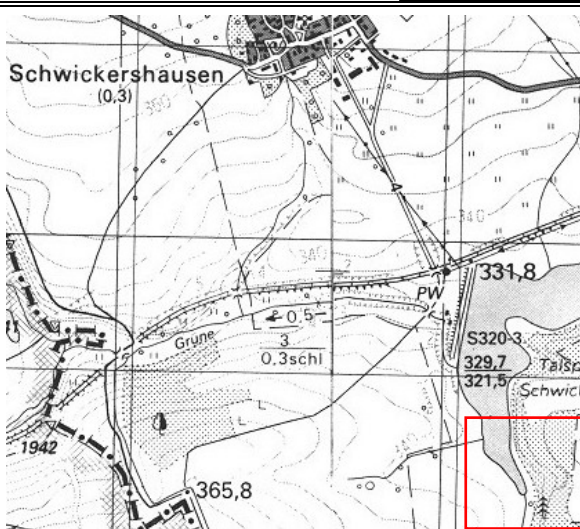
Steinbruch Kirchheim		Nr. 5132-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Kirchheim, verfüllter Steinbruch	Abb. 2: Kirchheim, verfüllter Steinbruch	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Torhaus in Kirchheim	Abb. 2: Torhaus, Detail des Mauerwerks	



Steinbruch Elxleben (bei Arnstadt)		Nr. 5132-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Marlishausen	Unterer Keuper	ku
Nr.	5132	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	56 37 400		
Rechtswert	44 32 175		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Ca. 800 m W von Elxleben, am S-Hang der Wipfra 		<ul style="list-style-type: none"> - Im Steinbruch keine - Abbruchmaterial aus Werningsleben, Probe WLB 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Bruch völlig eingeebnet 		<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: olivgrün, graugelb 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Elxleben: Mauerwerk der Gebäude, Ausfachungen, Tore - Gebäudebestand in Werningsleben 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (SCHMID 1885) - Steinbruch 1.12.31 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) 	

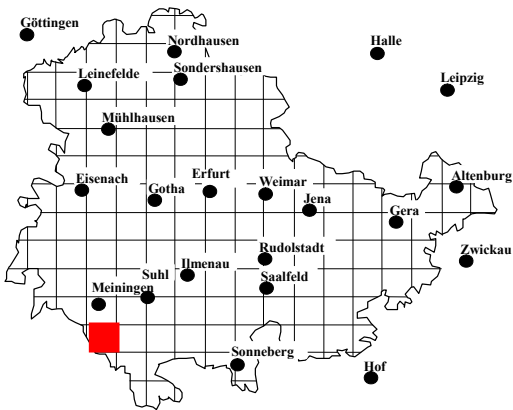
Steinbruch Elxleben (bei Arnstadt)		Nr. 5132-2
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Elxleben, Mauer eines Wohnhauses	Abb. 2: Elxleben, Ausfachung	
		
Abb. 3: Elxleben, Hausmarke (1675)		
		
Abb.4: Elxleben, Sockelmauerwerk	Abb.5: Elxleben, Pforte und Mauerwerk (15. Jh.)	

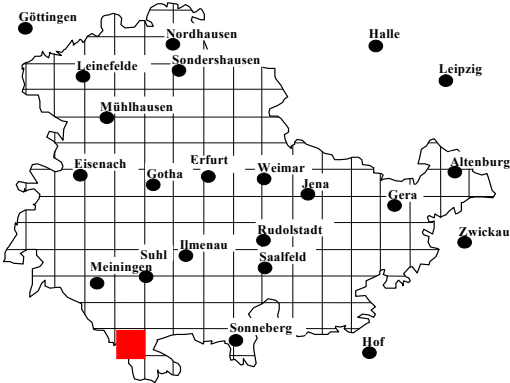
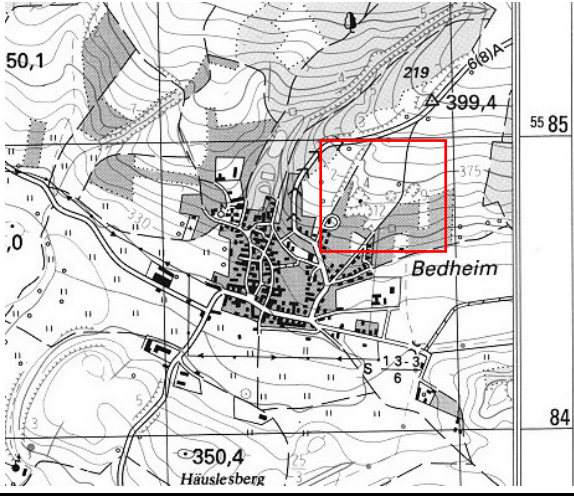
Steinbruch Marisfeld		Nr. 5429-1		
				
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel	
Blatt	Themar	Unterer Keuper Lettenkohlsandstein	ku kuS1	
Nr.	5429			
Koordinaten				
Hochwert	56 ?			
Rechtswert	44 ?			
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit		
- nicht bekannt		- Im Steinbruch keine - Abbruchmaterial von der Schlossmauer in Marisfeld, Probe MAR		
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung		
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- nicht bekannt		
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein		
- nicht möglich		- Farbe: olivgrün, gelbgrün, rotbraun		
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise		
- Marisfeld Kirche (15. Jh., 18. Jh.) und Schloss (17. Jh.)		- Geologische Karte mit Erläuterungen (PRÖSCHOLDT 1888)		

Steinbruch Marisfeld		Nr. 5429-1
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Marisfeld, Schloss (17. Jh.)	Abb. 2: Marisfeld, Schloss	
		
Abb. 3: Marisfeld, Kirchturm (15. Jh.)	Abb. 4: Marisfeld, Kirchturm, Eckquaderung	

Steinbruch Schwickershausen		Nr. 5528-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Rentwertshausen	Unterer Keuper Lettenkohlsandstein	ku
Nr.	5528		kuS
Koordinaten		Probenentnahmemöglichkeit	
Hochwert	55 91 021		
Rechtswert	43 85 255		
Lagebeschreibung		Geschichtliche Entwicklung	
- 1.5 km SE von Schwickershausen, östlich des Zulaufs der Talsperre		- Im Steinbruch keine Abbruchmaterial, Probe SWH	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Angaben zum Stein	
- Verwachsen, Müllkippe		- Farbe: graugrün, graugelb mit Pünktchen - verwittert gelblich	
Angaben zum Vorkommen		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht möglich		- Geologische Karte mit Erläuterungen (PRÖSCHOLDT 1892) - Geologische Karte (SCHRÖDER 2002)	
Verwendungsbeispiele			
- Mauer- und Werksteine, Epitaphe, Tröge - Schloss (1549) und Kirche (1793) in Schwickershausen - Gebäudebestand in Schwickershausen			

Steinbruch Schwickershausen		Nr. 5528-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Verfüllter Steinbruch	Abb. 2: Verfüllter Steinbruch	
Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte		
		
Abb. 1: Schloss Schwickershausen (1549)	Abb. 2: Schloss Schwickershausen	
		
Abb. 3: Schloss Schwickershausen , Portal	Abb. 4: Schloss Schwickershausen, Epitaph	

Steinbruch Behrungen		Nr. 5528-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Rentwertshausen	Unterer Keuper	ku
Nr.	5528	Lettenkohlsandstein	kuS
Koordinaten			
Hochwert	55 86 703		
Rechtswert	43 92 296		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
- 800 m SW von Behrungen		- nicht möglich	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
- Aufschluss nicht mehr auffindbar		- nicht bekannt	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
- nicht bekannt		- nicht bekannt	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
- nicht bekannt		- Geologische Karte mit Erläuterungen (RÖSCHOLDT 1892) - Geologische Karte (SCHRÖDER 2002)	

Steinbruch Bedheim		Nr. 5629-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Römhild	Unterer Keuper	ku
Nr.	5629	Lettenkohlsandstein	kuS2
Koordinaten			
Hochwert	55 84 800		
Rechtswert	44 04 775		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - Unmittelbar am Nord-Ost-Rand von Bedheim - nahe der Straße nach Hildburghausen - weitere Brüche in: - HW 55 84 770 und RW 44 04 650 - HW 55 85 050 und RW 44 04 850 		<ul style="list-style-type: none"> - Gut zugängliches Steinbruchareal mit guten Entnahmemöglichkeiten - Probe BHT, rotbraun, getiegt - Probe BHG, grünbraun - Probe BHR, rotbraun 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Mehrere Hanglehnen- und Kesselbrüche mit Durchmessern bis zu 80 m und Wandhöhen von 2 bis 5 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Seit dem 16. Jh. in Betrieb bis etwa 1950 (WEISS 1990). Nach 1990 gab es Bestrebungen zur Wiederinbetriebnahme - Letzter Nutzer: Steinmetzmeister Oskar Jahn aus Bedheim. 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit: 12-14 m - Bankmächtigkeit: 0,6 m-1,2 m - Rohblockgröße: max. 4 m³ - Zerklüftung: Abstände max. 5 m - Abraum: 2-3 m Lockergestein 		<ul style="list-style-type: none"> - 2 deutlich unterscheidbare Varietäten: (hellgaubraun, graugrün und braunviolett, auch getiegt) - Gut witterungsbeständig in Bereichen, die keiner Dauerdurchfeuchtung unterliegen, unabhängig von der Exposition 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Schloss und Kirche in Bedheim (16./17. Jh.) - Kirche in Gleicherwiesen (1843) - Kirche in Simmershausen (1881) - Zeilfeld: Gebäude, Scheunen, Sockel 		<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch 1.12.32 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - HOPPE (1939), WEISS (1990) - KATZSCHMANN ET AL. (2006) 	

Steinbruch Bedheim

Nr. 5629-1

Abbildungen des Steinbruchs



Abb. 1 und 2: Steinbruch direkt neben der Straße nach Hildburghausen



Abb. 3 und 4: Steinbrüche westlich der Straße

Steinbruch Bedheim

Nr. 5629-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Bedheim, Schloss (16. Jh.)



Abb. 2: Bedheim, Schloss



Abb. 3: Bedheim, Schloss



Abb. 4: Bedheim, Schlossportal (18. Jh.)



Abb. 5: Bedheim, Schloss



Abb. 6: Bedheim, Schloss

Steinbruch Bedheim

Nr. 5629-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte (Fortsetzung)



Abb. 7: Bedheim, Kirche (1696)



Abb. 8: Bedheim, Stützmauer Kirche



Abb. 9: Bedheim, Stützmauer Kirche



Abb. 10: Bedheim, Schloss, Eckquaderung



Abb. 11: Bedheim, Gasthaus (1877)



Abb. 12: Bedheim, Gasthaus (1877)

Steinbruch Bedheim

Nr. 5629-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte (Fortsetzung)



Abb. 13: Gleicherwiesen, Kirche (1843)



Abb. 14: Gleicherwiesen, Kirche



Abb. 15: Simmershausen, Kirche (1881)

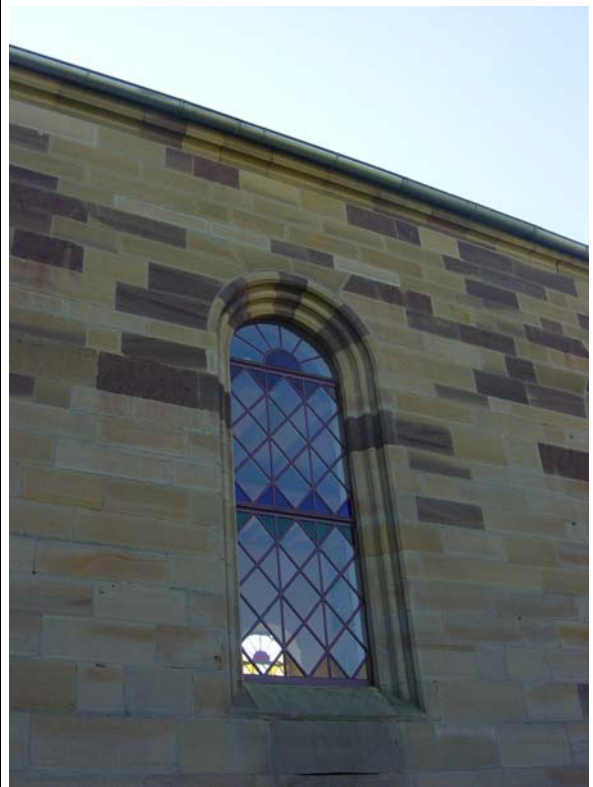


Abb. 16: Simmershausen, Kirche

Steinbruch Bedheim

Nr. 5629-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte (Fortsetzung)



Abb. 17: Zeilfeld, Pfeiler der Kirchmauer



Abb. 18: Zeilfeld, Scheune



Abb. 19: Zeilfeld, Scheune, Ausfachung



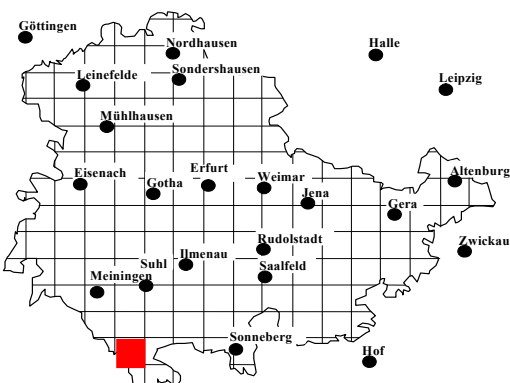
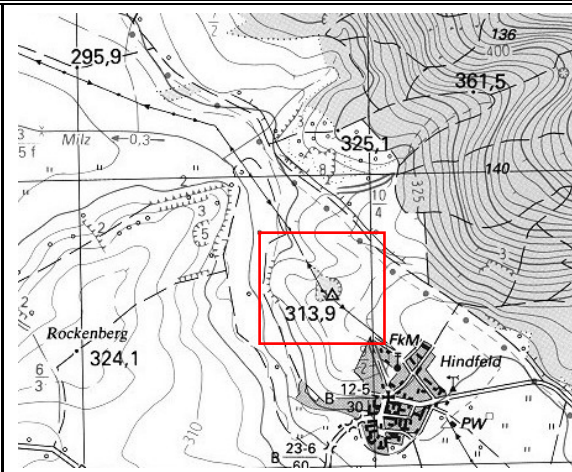
Abb. 20: Detail Ausfachung









Abb. 21: Zeilfeld, Gebäude



Abb. 22: Zeilfeld, Sockel

Steinbruch Hindfeld		Nr. 5629-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Römhild	Mittlerer Keuper	km
Nr.	5629	Schilfsandstein	kmS2
Koordinaten			
Hochwert	55 83 060		
Rechtswert	43 97 860		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 500 m NW von Hindfeld am NE-Hang des Großen Gleichberges - auch angegeben für HW 55 82 610 und RW 43 97 840 		<ul style="list-style-type: none"> - Gute Probeentnahmemöglichkeiten - Material aus dem westlichen Bruch, Probe HFA, Vergleichsproben aus Abbruchmaterial, Proben HF 1 und HF 2 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Angaben zum Vorkommen	
<ul style="list-style-type: none"> - besteht aus zwei großen Kesseln, die an ihrem nördlichen Ende miteinander verbunden sind - freistehende Wände in beiden Teilen, im östlichen Bruch bis ca. 7 m hoch, im westlichen Bruch bis ca. 5 m hoch - im östlichen Bruch niedriger Baum- und Strauchbewuchs, im westlichen Bruch kein Baum- oder Strauchbewuchs - in beiden Brüchen eingearbeitete Keller 		<ul style="list-style-type: none"> - ca. 8 m mächtige Folge von meist graugrünen, fein- mittelkörnigen, stark glimmerführenden Sandsteinen in massiger Ausbildung - Blockhöhen: bis 0,7 m; Kluftabstände: 1-2m - Die oberen Bereiche (ca. 1 m) sind plattig und schräggeschichtet - untergeordnet, meist linsenförmig (mit starker Pflanzenführung) findet man Schrägschichtung und plattige Ausbildung 	
Geschichtliche Entwicklung		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - mind. seit dem 15. Jh. bis Anfang des 20. Jh. (HOPPE 1939, WEISS 1990) 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: braungelb, hellolivgrün - schwarz gespenkelt 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Römhild: Kirche und Schloss (15. Jh.) - Hindfeld: Kirche, Torpfosten und Mauern - Bibra: Kirche (16. Jh.) und Schloss (16. Jh.) - Meiningen Theater (1879) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (PRÖSCHOLDT 1895) - Steinbruch 1.13.01 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - HOPPE (1939), WEISS (1990), PATZELT (1996), KATZSCHMANN, ET AL. (2006) 	

Steinbruch Hindfeld		Nr. 5629-2
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Hindfeld, Steinbruch	Abb. 2: Hindfeld, Steinbruch	
		
Abb. 3: Hindfeld, Steinbruch	Abb. 4: Hindfeld, Steinbruch	
		
Abb. 5: Hindfeld, Steinbruch	Abb. 6: Hindfeld, Steinbruch	

Steinbruch Hindfeld

Nr. 5629-2

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Hindfeld, Scheune



Abb. 2: Hindfeld, Torpfeiler



Abb. 3: Römhild, Schloss Glücksburg (15. Jh.)



Abb. 4: Römhild, Schloss Glücksburg

Steinbruch Hindfeld

Nr. 5629-2

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte (Fortsetzung)



Abb. 5: Römhild, Kirche (15. Jh.)



Abb. 6: Römhild, Kirche



Abb. 7: Bibra, Schloss (16. Jh.), Westseite



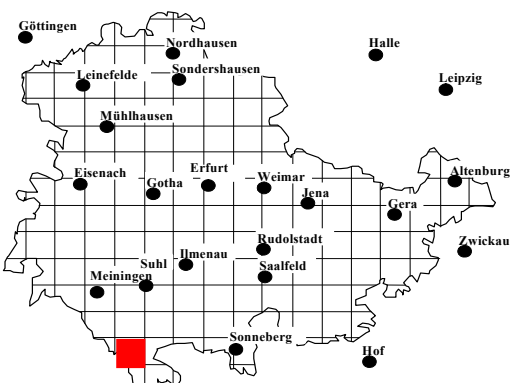
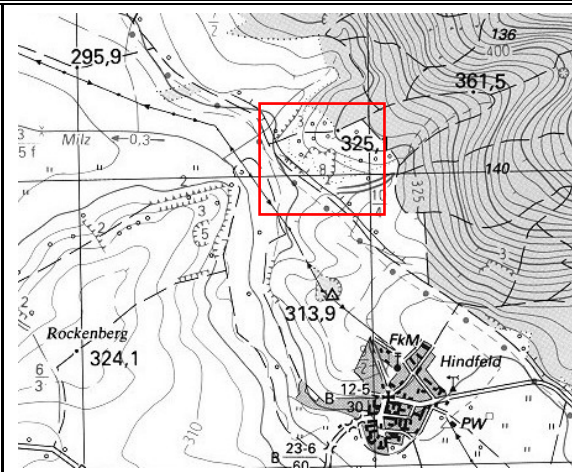
Abb. 8: Bibra, Schloss, Erker, NW-Ecke



Abb. 9: Bibra, Schloss, Portal Südseite



Abb. 10: Bibra, Schloss, Portal Westseite

Steinbruch Milz-Hindfeld		Nr. 5629-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Römhild	Mittlerer Keuper	km
Nr.	5629	Schilfsandstein	kmS2
Koordinaten			
Hochwert	55 82 790		
Rechtswert	43 97 400		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - ca. 800 m NW von Hindfeld, an der alten Straße (jetzt Feldweg) zwischen Hindfeld und Römhild gelegen 		<ul style="list-style-type: none"> - Gute Probenentnahmemöglichkeiten - Material aus dem östlichen Bruch, Probe HFN - Vergleichsprobe aus Kirchmauer in Milz, Probe MLZ 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Steinbruch besteht aus zwei sehr großen Kesseln, die an ihrem südwestlichen Ende miteinander verbunden sind - Brüche öffnen sich nach SW - Freistehende Wände in beiden Teilen, im östlichen Bruch bis ca. 7 m hoch, im westlichen Bruch bis ca. 10 m hoch - alter Baumbestand, in beiden Brüchen eingearbeitete Keller, abgebrochenes Material am Grund beider Brüche 		<ul style="list-style-type: none"> - Ist in der geolog. Karte von 2002 verzeichnet - Laut Anliegerinformation gab es Bestrebungen, den Bruch nach 1990 wieder zu betreiben, das Material erwies sich aber als zu brüchig 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - nicht bekannt 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: braungelb, hellolivgrün - schwarz gespenkelt 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Im Ortsbild von Römhild, Milz und Hindfeld stark vertreten - Kirche Milz (1520) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (PRÖSCHOLDT 1895) - HOPPE (1939) 	

Steinbruch Milz-Hindfeld

Nr. 5629-3

Abbildungen des Steinbruchs



Abb. 1: Steinbruch Milz-Hindfeld

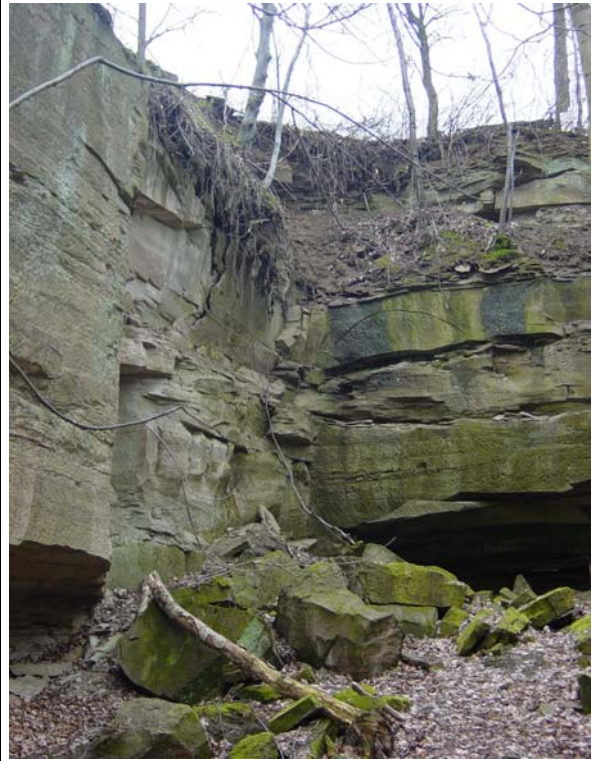


Abb. 2: Steinbruch Milz-Hindfeld



Abb. 3: Steinbruch Milz-Hindfeld



Abb. 4: Keller im Steinbruch



Abb. 5: Keller im Steinbruch

Steinbruch Milz-Hindfeld

Nr. 5629-3

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Kirche in Milz (1520)



Abb. 2: Kirche in Milz



Abb. 3: Epitaph an der Kirche in Milz



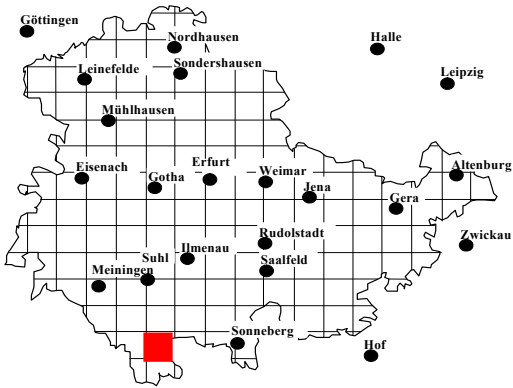
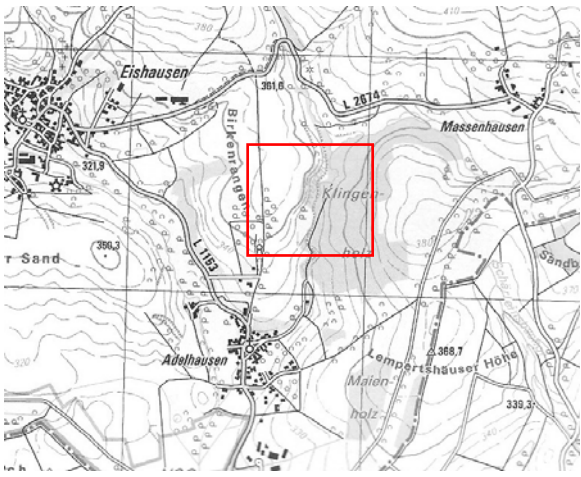
Abb. 4: Scheune in Milz







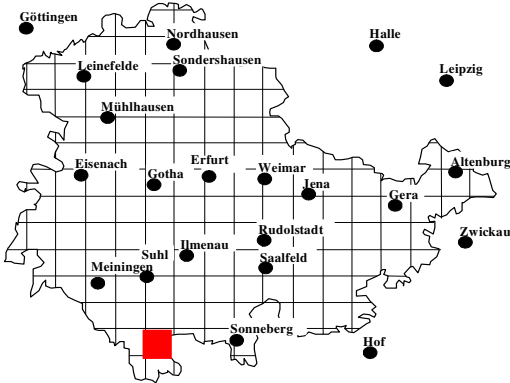
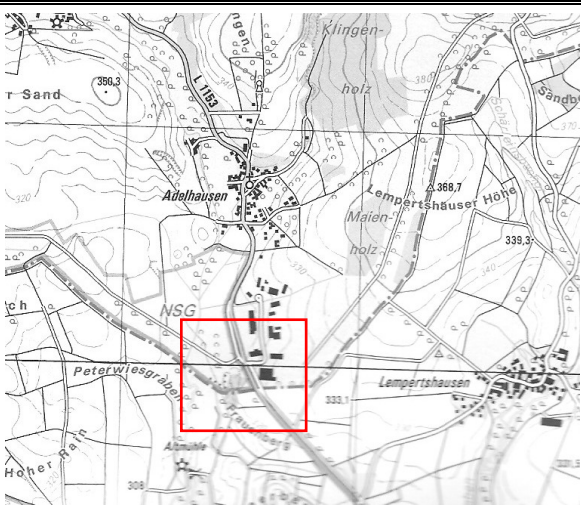
Abb. 5: Wohnhaus in Milz



Abb. 6: Detail des Sockelmauerwerks

Steinbruch Adelhausen N		Nr. 5630-1	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Rodach	Unterer Keuper	ku
Nr.	5630	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	55 82 425		
Rechtswert	44 11 250		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 500 m N Adelhausen - mehrere kleine Brüche - auch angegeben für HW 55 82 400 und RW 44 11 220 		<ul style="list-style-type: none"> - Bedingt möglich - Violettbraunes Abbruchmaterial (entsorgte Grabeinfassung), Proben AH, AHR, AHT 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - 500 m lange Front von Steinbrüchen (Lehnbrüche) westlich des Weges, verfallen, verwachsen - nördlicher Kesselbruch mit erhaltener Ostwand, ca. 10 m breit, 2-5 m hoch - stark zerklüftet, max. Blockhöhen von 0,8 m 		<ul style="list-style-type: none"> - Wahrscheinlich seit dem Mittelalter bis etwa 2. Weltkrieg in Betrieb - Letzter Nutzer: Fa. Berger aus Eishausen - Im Gemeindebruch erfolgt nur selten Abbau - Ist in der geolog. Karte von 1888 nicht eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - bis zu 2 m mächtige Bänke 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: rotbraun, braunviolett, gelbgrün gestreift, graugrün mit rotbraunen Streifen und Übergängen - zahlreiche stecknadelkopfgroße Rostflecken 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirche (1484 und 1724) und Gebäude (auch Sockel) in Adelhausen - Kirche in Eishausen (1748-49) 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (BEYSCHLAG & PRÖSCHOLDT 1888) - Steinbruch 1.12.33 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - HOPPE (1939), WEISS (1990) - PATZELT (1995) 	

Steinbruch Adelhausen N		Nr. 5630-1
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Abbildungen der nördlichen Steinbrüche	Abb. 2: Abbildungen der nördlichen Steinbrüche	
		
Abb. 3: Abbildungen der nördlichen Steinbrüche	Abb. 4: Abbildungen der nördlichen Steinbrüche	

Steinbruch Adelhausen S		Nr. 5630-2	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Rodach	Unterer Keuper	ku
Nr.	5630	Lettenkohlsandstein	kuS1
Koordinaten			
Hochwert	55 81 050		
Rechtswert	44 11 200		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - 800 m S Adelhausen - westlich der Straße zwischen Adelhausen und Rodach - in unmittelbarer Nähe zur bayerischen Grenze 		<ul style="list-style-type: none"> - keine - Violettbraunes Abbruchmaterial (entsorgte Grabeinfassung), Proben AH, AHR, AHT 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - halbrunder, großer Steinbruch - völlig verfallen und verwachsen 		<ul style="list-style-type: none"> - Ist in der geolog. Karte von 1888 eingetragen 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - bis zu 2 m mächtige Bänke 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: rotbraun, braunviolett, gelbgrün gestreift, graugrün mit rotbraunen Streifen und Übergängen - Zahlreiche stecknadelkopfgroße Rostflecken 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Kirche (1484 und 1724) und Gebäude (auch Sockel) in Adelhausen - Kirche in Eishausen (1748-49) - Bad Rodach, verschiedene Gebäude 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen (BEYSCHLAG & PRÖSCHOLDT 1888) 	

Steinbrüche Adelhausen

Nr. 5630-1

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Adelhausen, Kirche (1484 und 1724)



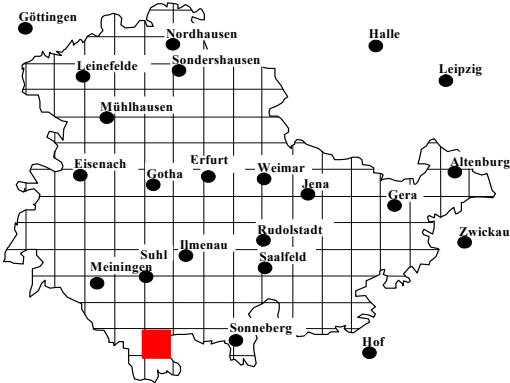
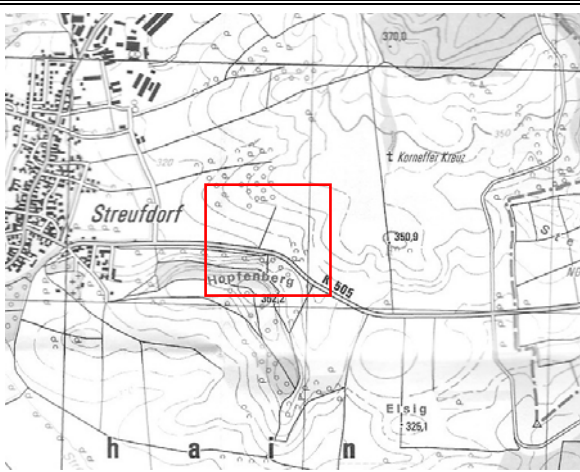
Abb. 2: Adelhausen, Eckquaderung der Kirche









Abb. 3: Eishausen, Kirche (1748-1749)



Abb. 4: Eishausen, Kirche

Steinbruch Streufdorf		Nr. 5630-3	
			
Topographische Karte (M 1:25000)		Stratigraphie	Kürzel
Blatt	Rodach	Mittlerer Keuper	km
Nr.	5630	Schilfsandstein	kmS2
Koordinaten			
Hochwert	55 80 440		
Rechtswert	44 07 590		
Lagebeschreibung		Probenentnahmemöglichkeit	
<ul style="list-style-type: none"> - zwei Steinbrüche 1.5 und 1.7 km östlich von Streufdorf an der Straße nach Roßfeld - auch angegeben für HW 55 80 500 und RW 44 07 625 		<ul style="list-style-type: none"> - Im westlichen Steinbruch möglich 	
Heutiger Zustand des Aufschlusses		Geschichtliche Entwicklung	
<ul style="list-style-type: none"> - Westlicher Bruch verfüllt, heute in einem Gartengrundstück (privat) - Östlicher Bruch, schlauchförmig, heute in einem Gartengrundstück (privat) - mit ca. 5 m sichtbarer Bruchwand 		<ul style="list-style-type: none"> - Wahrscheinlich seit dem Mittelalter betrieben - Letzte Nutzer: Rexhäuser, Nussmann aus Streufdorf - Westlicher Bruch bis ca. 1950 in Betrieb 	
Angaben zum Vorkommen		Angaben zum Stein	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtmächtigkeit: 10 m - Bruchwand: 3-6 m - Bankmächtigkeit: 0,5-2 m - Zerklüftung gering 		<ul style="list-style-type: none"> - Farbe: graugrün, graugelb, gelbgrün 	
Verwendungsbeispiele		Literatur / Quellen / Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> - Mauer- und Werksteine, plastische Arbeiten - Streufdorf: Wehrkirche (16. Jh., 1706) - Streufdorf: Schule, Gebäude - Burg Stauf - Gebäude in Bad Rodach? 		<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte mit Erläuterungen BEYSCHLAG & PRÖSCHOLDT (1888) - Steinbruch 1.13.02 der Kartei des IfD (GRÄBE 1978) - HOPPE (1939), WEISS (1990), PATZELT (1995), KATZSCHMANN, ET AL. 	

Steinbruch Streufdorf		Nr. 5630-3
Abbildungen des Steinbruchs		
		
Abb. 1: Östlicher Steinbruch	Abb. 2: Östlicher Steinbruch	
		
Abb. 3: Östlicher Steinbruch	Abb. 4: Östlicher Steinbruch	
		
Abb. 5: Östlicher Steinbruch	Abb. 6: Östlicher Steinbruch	

Steinbruch Streufdorf

Nr. 5630-3

Verwendungsbeispiele / Referenzobjekte



Abb. 1: Streufdorf, Kirche (1706)

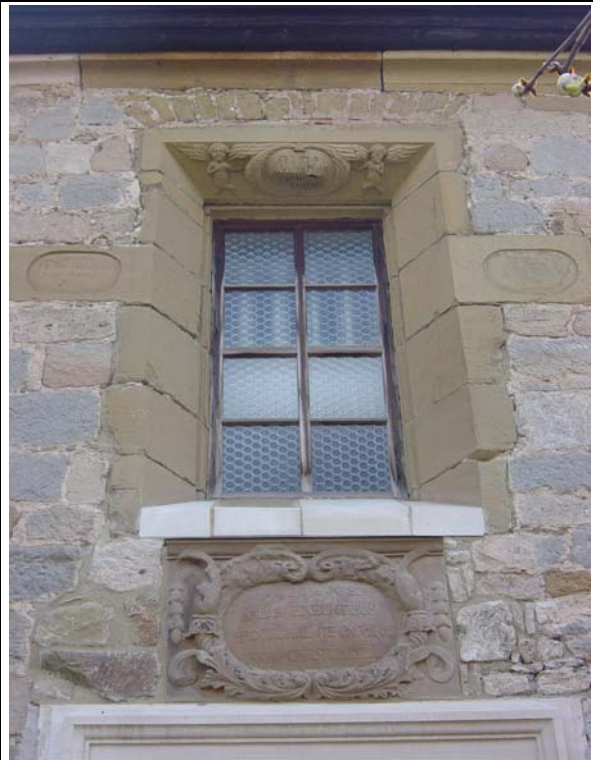


Abb. 2: Streufdorf, Kirche (1706)



Abb. 3: Scheune in Streufdorf



Abb. 4: Wohnhaus in Streufdorf (1930)



Abb. 5: Bad Rodach, Salvatorkirche



Abb. 6: Bad Rodach, Apotheke

Anhang II


Petrographische Einzelbeschreibung und Technische Kennwerte von thüringischen Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen

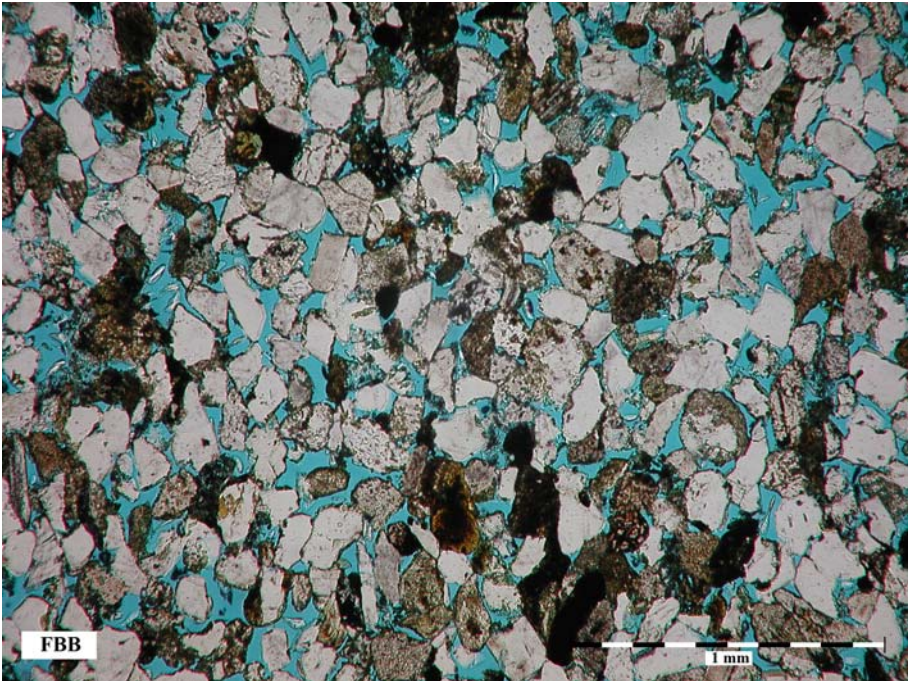
Die petrographische Beschreibung der Steine erfolgt in Anlehnung an die Darstellung im Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der BRD (GRIMM 1990). Es wurden nur qualitative Beschreibungen, ohne feinmineralogische oder geologisch-diagenetische Auswertungen vorgenommen. Im Wesentlichen wird auf die Eigenschaften eingegangen, die für die Charakterisierung der Steine erforderlich und für die Gesteinsverwitterung sowie die Steinkonservierung relevant sind.

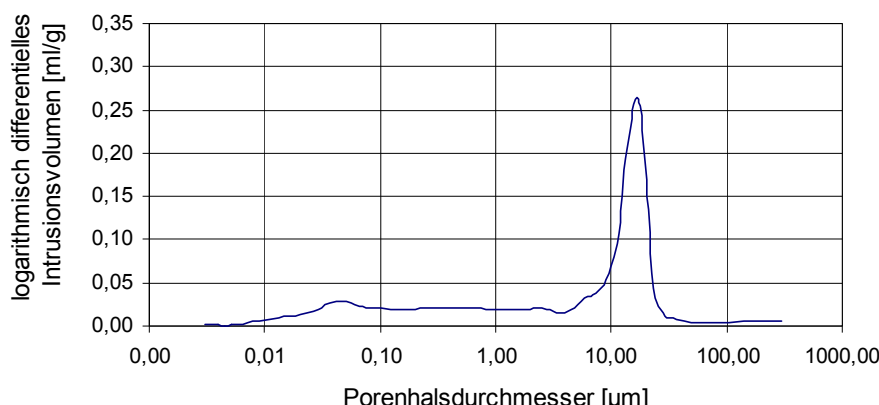


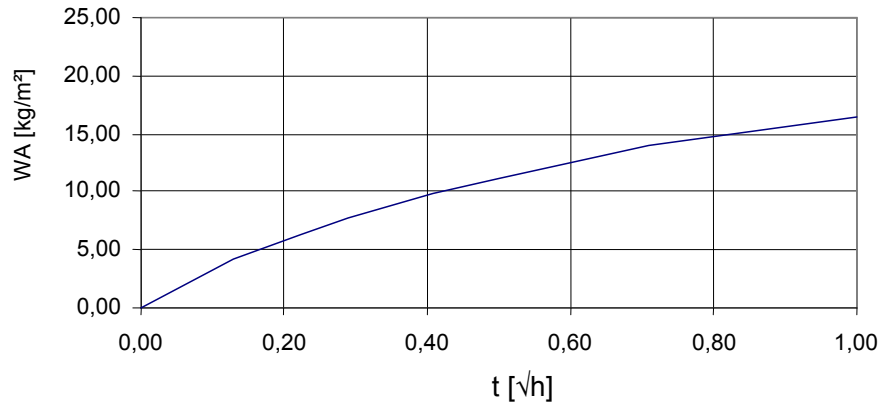
Die Beschreibung der Dünnschliffbeispiele erfolgte durch Dr. Dieter Klaua aus Jena.









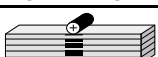




Verzeichnis der untersuchten Proben:


Probe	Herkunft	Stratigraphie	Seite
FBB	Freienbessingen	kuS	III-3 bis III-6
FBG	Freienbessingen	kuS	III-7 bis III-10
ABR	Abtsbessingen	kuS	III-11 bis III-14
GRU	Kleinurleben	kuS	III-15 bis III-18
KVF	Kleinvargula	kuS	III-19 bis III-22
KVG	Kleinvargula	kuS	III-23 bis III-26
TEN	Tennstedt	kuS	III-27 bis III-30
SFA	Straussfurt	kuS	III-31 bis III-34
BKL	Backleben	kuS	III-35 bis III-38
VOB	Vogelsberg	kuS	III-39 bis III-42
OLH	Orlishausen	kuS	III-43 bis III-46
TEU	Teutleben	kuS	III-47 bis III-50
LBG	Lauterbach	kuS	III-51 bis III-54
LBR	Lauterbach	kuS	III-55 bis III-58
HLB	Henningsleben	kuS	III-59 bis III-62
HLI	Henningsleben	kuS	III-63 bis III-66
HBS	Herbsleben	kuS	III-67 bis III-70
SAL	Salomonsborn	kuS	III-71 bis III-74
UKR	Erfurt	kmS	III-75 bis III-78
UKG	Erfurt	kmS	III-79 bis III-82
MVT	Markvippach	kuS	III-83 bis III-86
MVG	Markvippach	kuS	III-87 bis III-90
TLB	Thalborn	kuS	III-91 bis III-94
TRB	Troehtelborn	kuS	III-95 bis III-98
THR	Gotha	kuS	III-99 bis III-102
THS	Gotha	kuS	III-103 bis III-106
GTH	Gotha	kuS	III-107 bis III-110
ING/f	Ingersleben	kuS	III-111 bis III-114
ING/I	Ingersleben	kuS	III-115 bis III-118
KLM	Kornhochheim	kuS	III-119 bis III-122
RKH	Rockhausen	kuS	III-123 bis III-126
HST	Hochstedt	kuS	III-127 bis III-130
HFG	Hopfgarten	kuS	III-131 bis III-134
ESL	Eischleben	kuS	III-135 bis III-138
KHH	Kirchheim	kuS	III-139 bis III-142
WLB	Werningsleben	kuS	III-143 bis III-146
MAR	Marisfeld	kuS	III-147 bis III-150
SWH	Schwickershausen	kuS	III-151 bis III-154
BHR	Bedheim	kuS	III-155 bis III-158
BHG	Bedheim	kuS	III-159 bis III-162
HFA	Hindfeld	kmS	III-163 bis III-166
HFN	Milz-Hindfeld	kmS	III-167 bis III-170
MLZ	Milz	kmS	III-171 bis III-174
AH	Adelhausen	kuS	III-175 bis III-178
SDA	Streufdorf	kmS	III-179 bis III-182

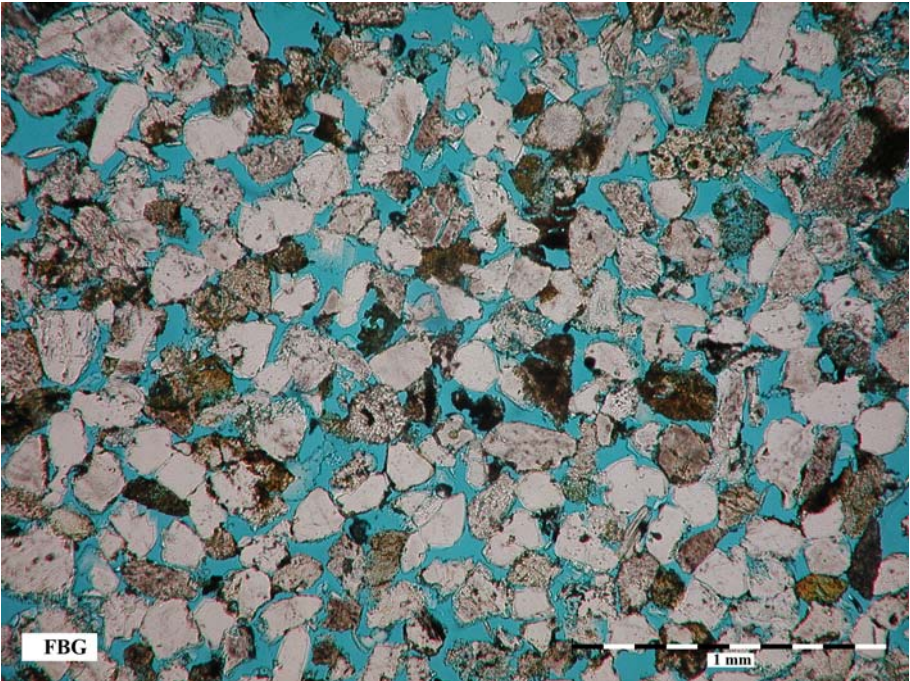
Megaskopischer Überblick		Probe FBB
Herkunft der Probe	Freienbessingen Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Freienbessingen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig und tonig-ferritisch gebundener, olivbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche geschliffen		
Gesamtfarbe	hellolivgelb, hellolivbraun	
Detailfarben	feine, schwärzliche Kohlelaminieren	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung nur schwach erkennbar, Parallelschichtung	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk, Fenstergewände und Eckquaderung der Kirche Freienbessingen (17. Jh.), Werksteinfassaden an verschiedenen Gebäuden des Gutshofs in Freienbessingen (19. Jh.)	
Literaturhinweise	GRÄBE (1978)	

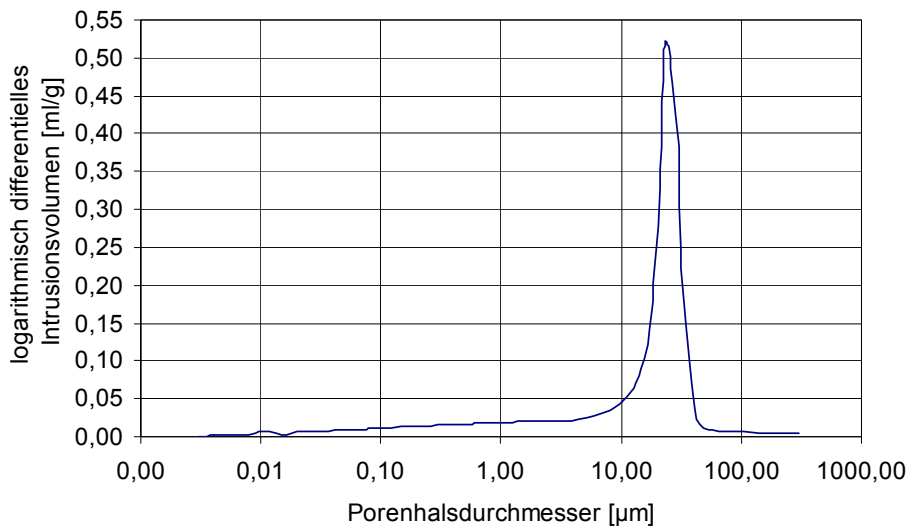


Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe FBB
Herkunft der Probe	Freienbessingen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: frisch oder mit geringen serizitischen Neubildungen, wenige stark zersetzt	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: Viele stark alterierte, braune, ferritisch pigmentierte Biotite (0,12-0,38 mm lang), selten lange Muskovite (max. 0,4 mm lang), mehrfach kleinblättriger Muskovit (0,1-0,12 mm lang), gering alteriert	
	Grünliche Minerale: wenige Aggregate, Chlorite	
	Sonstiges: stellenweise opake Körner angereichert (6-10 %)	
Bindemittel	Helle tonige, feinstfasrige Aggregate, braune tonig-ferritische und feinkörnige ferritische Substanz, nur teilweise Quarzkorn Grenzen sehr dünn ferritisch überzogen (10 % der Körner zu 10-30 %, 10 % der Körner zu 40-50 % des Umrisses). Geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung als schmale Anwachsäume, nur z.T. zwickelfüllend.	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung über ferritische, chloritische und glimmerige Kornkontakte, zwischen mehreren Körnern verdrückte (geknickte) Glimmer. Nur teilweise direkte Quarzkontakte (an ca. 10-30 % der Korngrenzlinien)	
Sichtbarer Porenraum	mittlere Porosität, meist 0,05-0,10 mm unregelmäßig geformte und verzweigte Poren	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,07mm) 0,10-0,22 mm	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch, wenig splittig	
Textur (Schichtung)	gering, angedeutet durch Glimmer und Bindemittelanreicherungen	
Sonstiges	vereinzelt rundliche, grünliche Fossilreste	

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe FBB
Herkunft der Probe		Freienbessingen	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	1,92	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,73	
Gesamtporosität	[V.-%]	27,00	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,85	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	1,94	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe FBB</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,20	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,35	
Sättigungswert	[-]	0,76	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		27,92
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		7,40
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,78	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe FBB</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe FBB
Herkunft der Probe		Freienbessingen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,65
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		26,28
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		21,40
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,20
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,33
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5538
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3433
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		7603
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,240
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,185

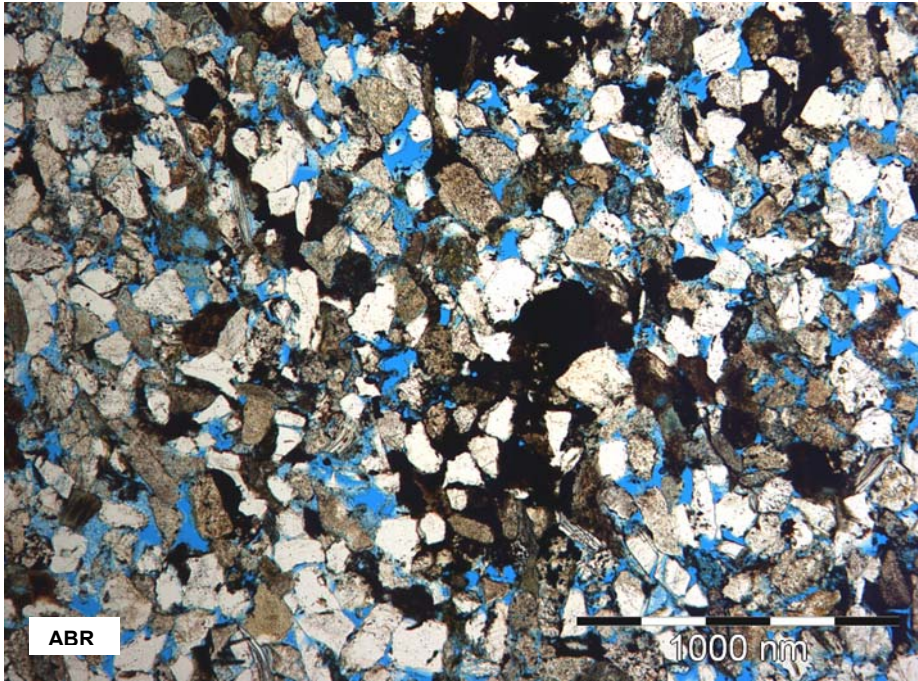
Megaskopischer Überblick		Probe FBG
Herkunft der Probe	Freienbessingen Abbruchmaterial vom Gut in Freienbessingen (19. Jh.)	
Abbauort	Freienbessingen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Hellolivbrauner, feinkörniger Sandstein mit großem Porenvolumen	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellolivgelb, hellolivbraun	
Detailfarben	sehr feine Kohlelaminen, schwärzlich	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	nicht erkennbar	
Verwitterungsverhalten	Eher mäßig bis schlecht. Schadbilder: überwiegend Absanden und Abblättern, weniger Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk, Fenstergewände und Eckquaderung der Kirche Freienbessingen (17. Jh.), Werksteinfassaden an verschiedenen Gebäuden des Gutshofs in Freienbessingen (19. Jh.)	
Literaturhinweise	GRÄBE (1978)	

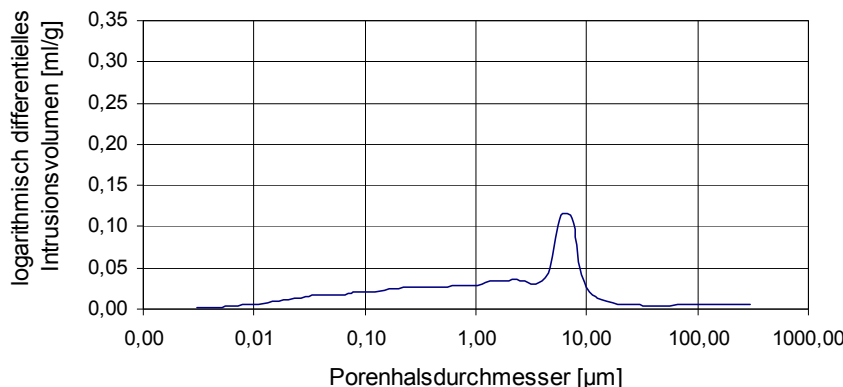


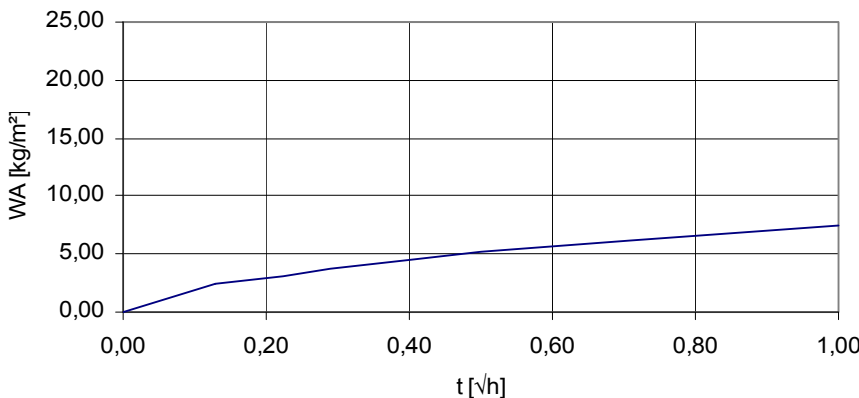
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe FBG
Herkunft der Probe	Freienbessingen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr selten kurze Muskovite, meist alteriert, kein Biotit	
	Grünliche Minerale: fehlen	
	Sonstiges: wenige opake Körnchen	
Bindemittel	kleine tonige, feinstschuppige und feinstfasrige Aggregate, braune tonig-schluffige, ferritisch durchsetzte Substanz zwischen mehreren Klasten, unregelmäßig geformt, sehr geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung (schmale Teilsäume)	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung kaum auswertbar, da meist isolierte Quarze und Feldspäte. Nur teilweise sehr direkte Quarzkontakte an ca. 10 % der Korngrenzlinie, selten punktförmig	
Sichtbarer Porenraum	Größter Porenraum von allen Proben, zusammenhängende Poren (ca. 40 %) über den ganzen Schliff verteilt. Gefüge, Kornbindung und Bindemittel dadurch nur ungenügend beurteilbar.	
Struktur	Korngrößen: (0,06-0,07 mm) 0,10-0,22 (-0,25 mm)	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch	
Textur (Schichtung)	keine Schichtung	
Sonstiges	Probe nur bedingt auswertbar, wegen ausgesprochen hohem Porenraum mit isolierten Klasten (Eventuell Herauslösung toniger Bindemittelbestandteile bei der Dünnschliffpräparation?) Allerdings korrelieren die Merkmale mit den technischen Eigenschaften. Sehr große Ähnlichkeit mit Probe FBB, diese allerdings ohne den großen Porenraum.	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe FBG	
Herkunft der Probe		Freienbessingen		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,61		
Rohdichte	[g/cm³]	1,78		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,68		
Gesamtporosität	[V.-%]	31,85		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	34,71		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,47		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe FBG</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	14,55		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	17,99		
Sättigungswert	[-]	0,81		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		23,29	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h ^{1/2}]		19,99	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,84		


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe FBG																
Herkunft der Probe		Freienbessingen																	
Hygrische Kennwerte (Fortsetzung)																			
Kapillare Wasseraufnahme der Probe FBG																			
<div><table><caption>Data points for capillary water uptake</caption><thead><tr><th>t [√h]</th><th>WA [kg/m²]</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,00</td><td>0,00</td></tr><tr><td>0,10</td><td>5,00</td></tr><tr><td>0,20</td><td>6,00</td></tr><tr><td>0,40</td><td>10,00</td></tr><tr><td>0,60</td><td>14,00</td></tr><tr><td>0,80</td><td>18,00</td></tr><tr><td>1,00</td><td>22,50</td></tr></tbody></table></div>				t [√h]	WA [kg/m²]	0,00	0,00	0,10	5,00	0,20	6,00	0,40	10,00	0,60	14,00	0,80	18,00	1,00	22,50
t [√h]	WA [kg/m²]																		
0,00	0,00																		
0,10	5,00																		
0,20	6,00																		
0,40	10,00																		
0,60	14,00																		
0,80	18,00																		
1,00	22,50																		
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten																			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13,60																
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.																
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		11,20																
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.																
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		8,40																
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.																
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8,60																
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,10																
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,00																
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4224																
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2198																
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5715																
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,250																
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,194																

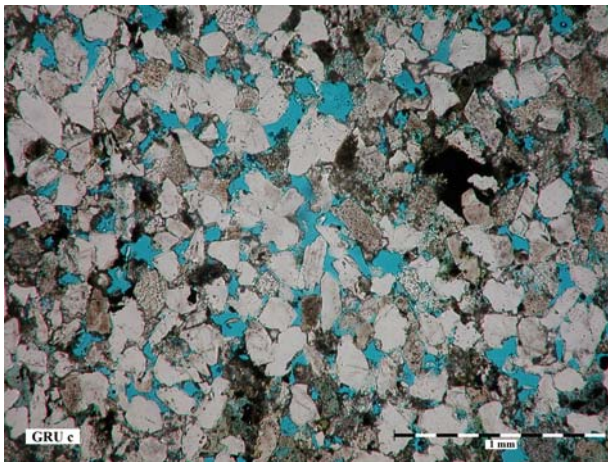
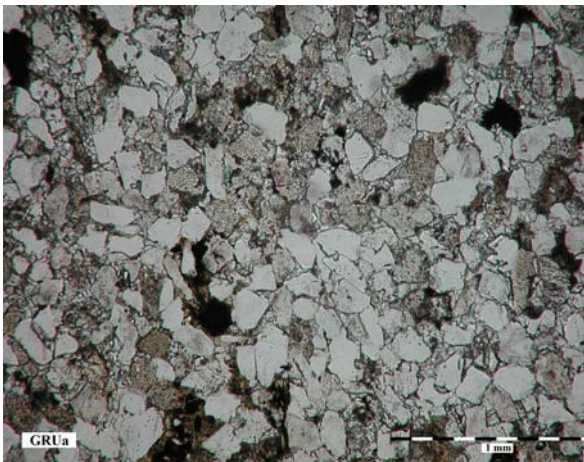
Megaskopischer Überblick		Probe ABR
Herkunft der Probe	Abtsbessingen	
Abbauort	vermutlich Freienbessingen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	violettbrauner, feinkörniger, glimmerhaltiger Sandstein mit überwiegend ferritischer, untergeordnet toniger und kiesliger Bindung	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	violettbraun	
Detailfarben	feine rostbraune Schichtungen und Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung nur gering durch Glimmer angedeutet, Parallelschichtung	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Eckquaderung der Kirche Abtsbessingen (15. Jh.)	
Literaturhinweise	GRÄBE (1978)	

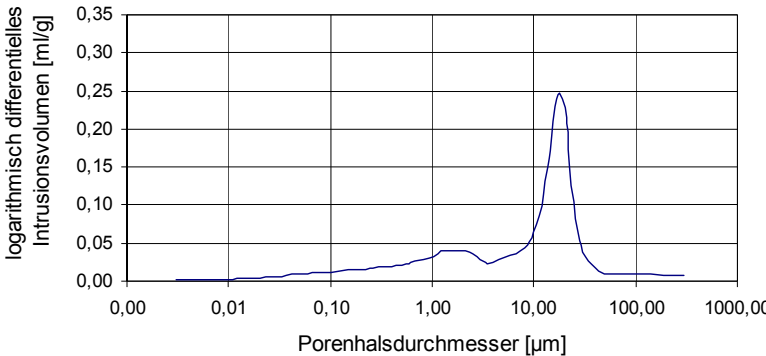


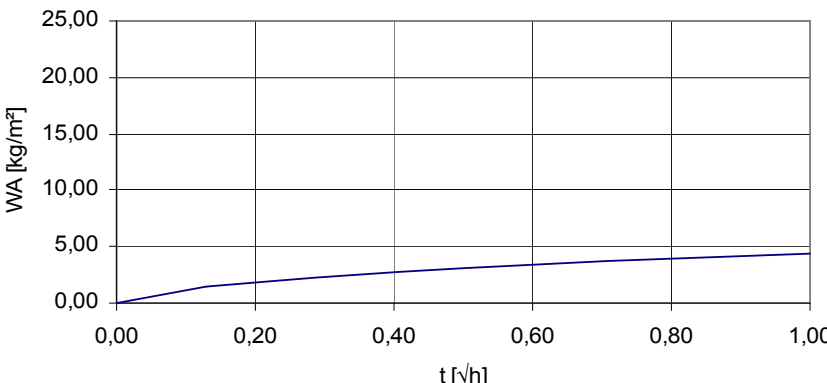
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe ABR
Herkunft der Probe	Abtsbessingen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: kleine, wenig lange Muskovite (bis 0,20 mm), gering alteriert auch alterierte Biotite, klein (0,10-0,20 mm), feinst pigmentiert, gebleicht, vergrünt	
	Grünliche Minerale: alterierte Biotite	
Bindemittel	reichlich ferritische Substanz (ca. 15-20 %), wenig helles toniges Bindemittel, selten als Porenfülle, geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Ferritische Substanz großfleckig (ca. 2 mm) als Basalzement angereichert, sonst noch als Poren- und breite Zwickelfülle (0,06 mm breit), als feine Pigmentierung an Korngrenzen, wenig als Teilhüllen.</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anlagerung: sehr wenig Ansatz an relativ vielen Körnern, oft nur Ausstülpungen in Zwickel</p> <p>Bindung: ca. 75 % über ferritische Substanz, ca. 25 % tonig gebunden, in kleinflächigen Bereichen ohne ferritische Substanz z.T. direkte Kornkontakte über ca. 50 % der Korngrenzlinien</p>	
Sichtbarer Porenraum	gering porös, selten bis 0,15 mm, oft um 0,02 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,02-0,09) 0,10-0,15 (-0,20 mm)	
	Kornformen: meist mehr oder weniger isometrisch und vieleckig, 5-10 % länglich, ca. 30 % rundlich	
Textur (Schichtung)	gering angedeutet durch lange Muskovite und z.T. reihenförmige ferritische Substanz	








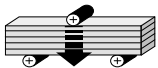
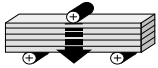
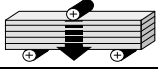
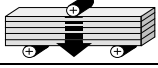



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ABR	
Herkunft der Probe		Abtsbessingen		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,61		
Rohdichte	[g/cm³]	2,07		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79		
Gesamtporosität	[V.-%]	20,68		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	21,19		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,38		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe ABR</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,10		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,70		
Sättigungswert	[-]	0,83		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		53,44	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		5,23	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,81		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe ABR</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ABR
Herkunft der Probe		Abtsbessingen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		40,81
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		29,45
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		23,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,90
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,67
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5502
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2807
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8475
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,200
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,150

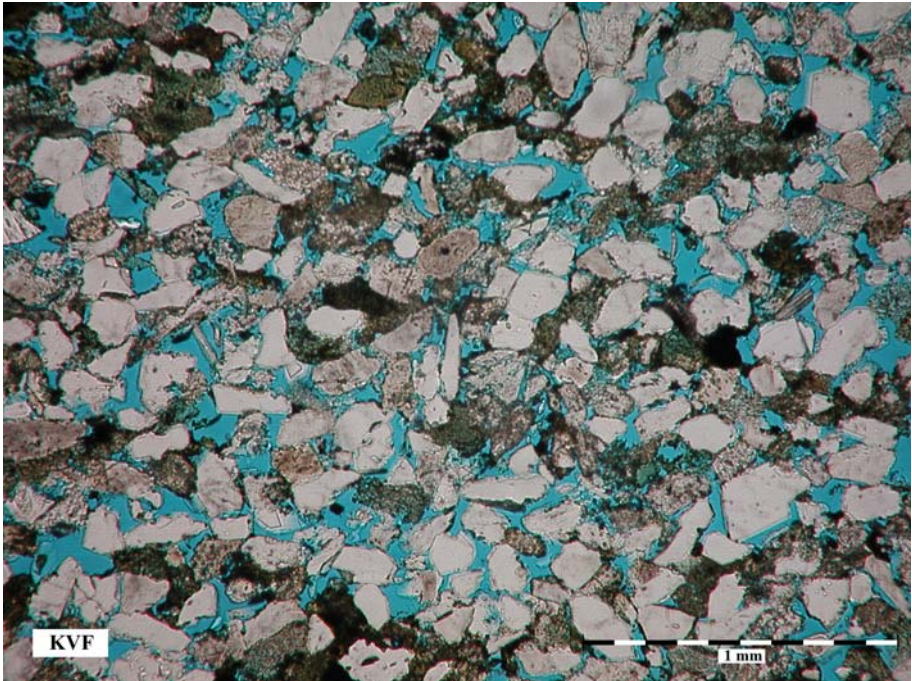
Megaskopischer Überblick		Probe GRU
Herkunft der Probe	Großurleben Material aus der Deponie Kleinurleben	
Abbauort	früher Großurleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	vorwiegend karbonatisch gebundener, graugelber bis gelbbrauner, glimmerhaltiger, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	graugelb, gelbbraun	
Detailfarben	rostbraune Schichtungen und Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig, dichte Bereiche wechseln mit porösen Bereichen	
Textur	Parallelschichtung	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Bereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern, weniger Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine, auch Sockel, von Gebäuden und Kellern in Großurleben, Mühlstein in Großurleben	
Literaturhinweise	Speyer (1880), GRÄBE (1978)	

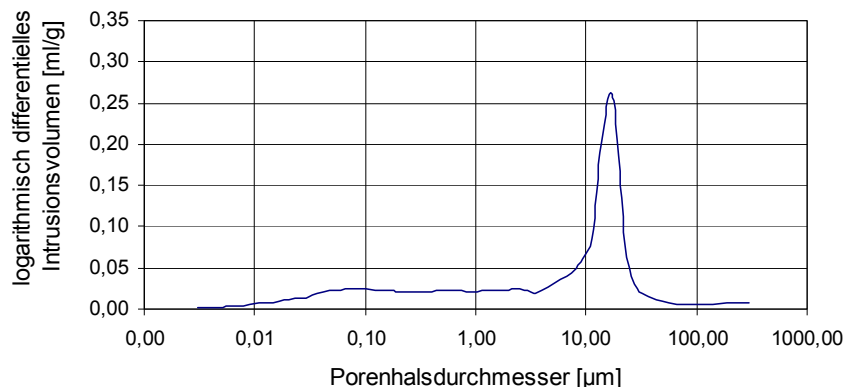


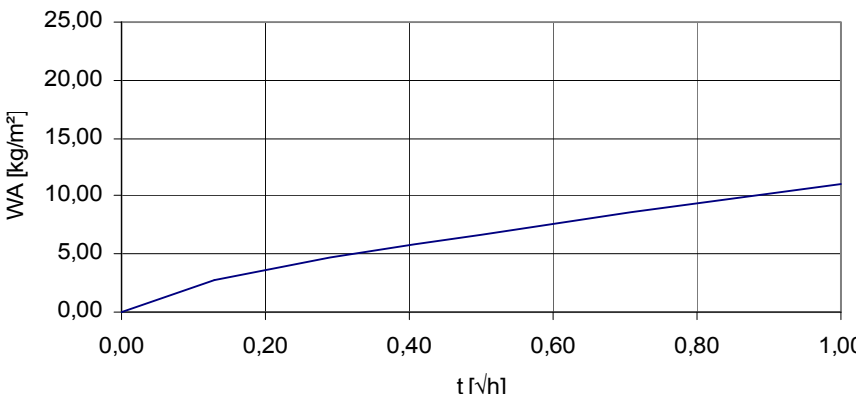
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe GRU
Herkunft der Probe	Großurleben	
<div></div>		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: Muskovit	
	Grünliche Minerale: nicht vorhanden	
	Sonstiges: Ferritische, dunkelbraune bis opake Substanzen in größeren Zwickeln mäßig bis gering, aber durchgängig verteilt	
Bindemittel	Linkes Bild: Drei Viertel des Schliffes karbonatisches Bindemittel, ca. 20 % kristallin (um 0,10 mm), selten Einzelkristalle bis 0,25 mm Rechtes Bild: Ein Achtel des Schliffes karbonatisches Bindemittel, ca. 5 % kristallin, kleine tonige (helle und bräunliche) Flocken, geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Linkes Bild: Karbonatisches Bindemittel fast alle Poren füllend, zwischen mehreren Quarzkörnern, z.T. diese umhüllend, hier dichte Bindung Rechtes Bild: Porös bis stark porös, wenige Kornverbände, 10-40 % unmittelbare Bindung an Korngrenzen	
Sichtbarer Porenraum	Außerhalb der dichten, karbonatischen Bereiche: 0,03-0,1 mm offene Poren	
Struktur	Korngrößen: 0,1-0,22 mm (-0,25 mm)	
	Kornformen: rundlich und unregelmäßig vielkantig	
Textur (Schichtung)	sehr gering, durch lagige Karbonatverteilung angedeutet	
Sonstiges		









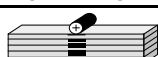





Gesteinstechnische Kennwerte			Probe GRU	
Herkunft der Probe		Großurleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,68		
Rohdichte	[g/cm³]	2,16		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,81		
Gesamtporosität	[V-%]	19,40		
Offene Porosität aus Hg	[V-%]	26,65		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	1,73		
<div><p>Porenvolumenverteilung der Probe GRU</p></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M-%]	6,10		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M-%]	7,10		
Sättigungswert	[-]	0,86		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		65,79	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		2,21	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M-%]	0,54		
<div><p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe GRU</p></div>				

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe GRU
Herkunft der Probe		Großurleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		35,80
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		31,40
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		32,30
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		30,90
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		28,15
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,30
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		4,40
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12429
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		9698
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17590
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,100
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,090

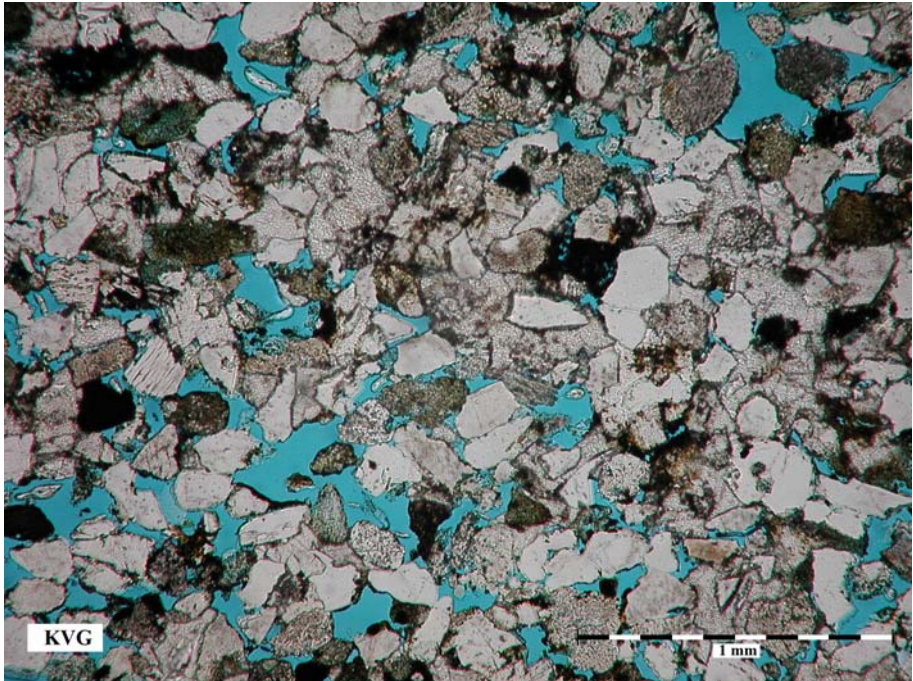
Megaskopischer Überblick		Probe KVF
Herkunft der Probe	Kleinvargula Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Kleinvargula	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, graubrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgraugrün, hellgraubraun	
Detailfarben	feine Kohlelaminen, schwärzlich	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung nur schwach angedeutet durch Glimmer und Bindemittelfasern	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine des Schlosses und der Schlossbrücke in Herbsleben (16. Jh.), Mauerwerk und Fenstergewände der Kirche in Kleinvargula (18. Jh.)	
Literaturhinweise	SPEYER (1880), GRÄBE (1978)	

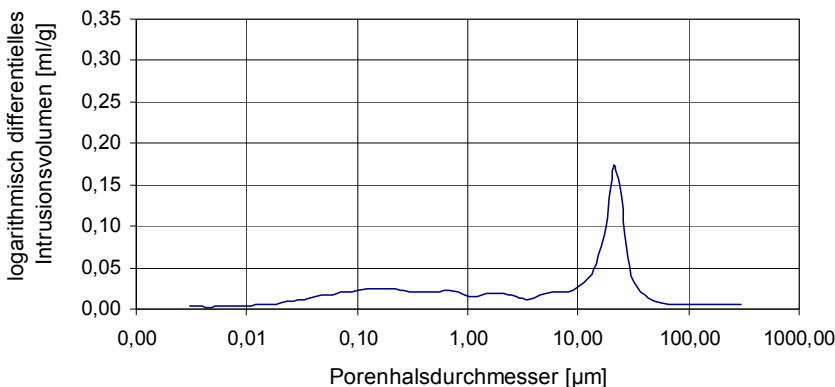


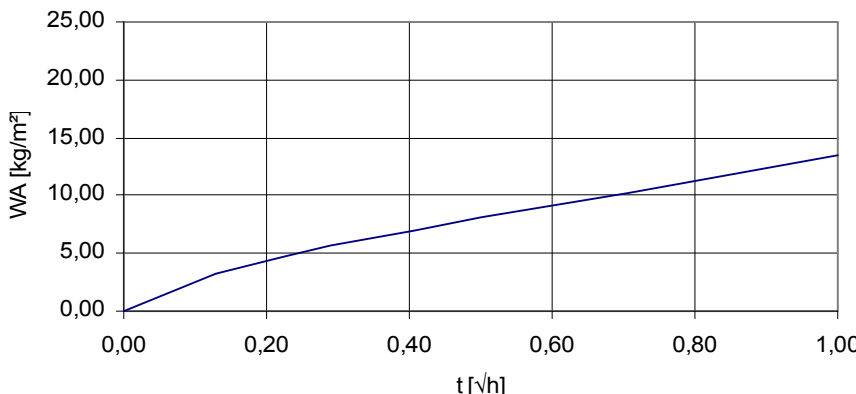
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe KVF
Herkunft der Probe	Kleinvargula	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: mäßig kurzblättriger Muskovit (0,4-0,07 mm), vereinzelt alterierter Biotit, um 0,06 mm	
	Grünliche Minerale: grünliche und grünlichgraue Aggregate, z.T. fleckenhaft gehäuft, verschieden geformt	
	Sonstiges:	
Bindemittel	reichlich helle bis graue tonig-feinstglimmrige Partikel, wenige ferritische, körnige und schmale längliche Aggregate in den Poren, geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung, nur Teilsäume	
Diagenese (Kornbindung)	Kein durchgehendes Korngerüst wegen reichlicher Bindemittelanhäufungen (im Bild: oberer und unterer Rand) und großer Porenräume (in Bildmitte). In bindemittelarmen Bereichen: punktförmige Kontakte, selten direkter Kontakt mit 30-40 % der Korngrenzen.	
Sichtbarer Porenraum	mittlere Porosität, meist grobporig und oft zusammenhängende Porenräume bis 0,08x0,35 mm, Einzelporen um 0,05-0,10 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,06-0,09mm) 0,10-0,20 (-0,25 mm)	
	Kornformen: meist mehr oder weniger isometrisch, wenig splittig und länglich	
Textur (Schichtung)	gering, angedeutet durch Glimmer und Bindemittelfasern	
Sonstiges		









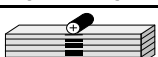





Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KVF
Herkunft der Probe		Kleinvargula	
Gefügekenwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,69	
Rohdichte	[g/cm³]	1,92	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,71	
Gesamtporosität	[V.-%]	28,52	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,04	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,61	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe KVF</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,50	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,08	
Sättigungswert	[-]	0,77	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		45,10
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		8,97
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,76	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe KVF</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KVF
Herkunft der Probe		Kleinvargula	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		20,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		16,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		13,00
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		15,63
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,70
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3412
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2489
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4665
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,242
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,167

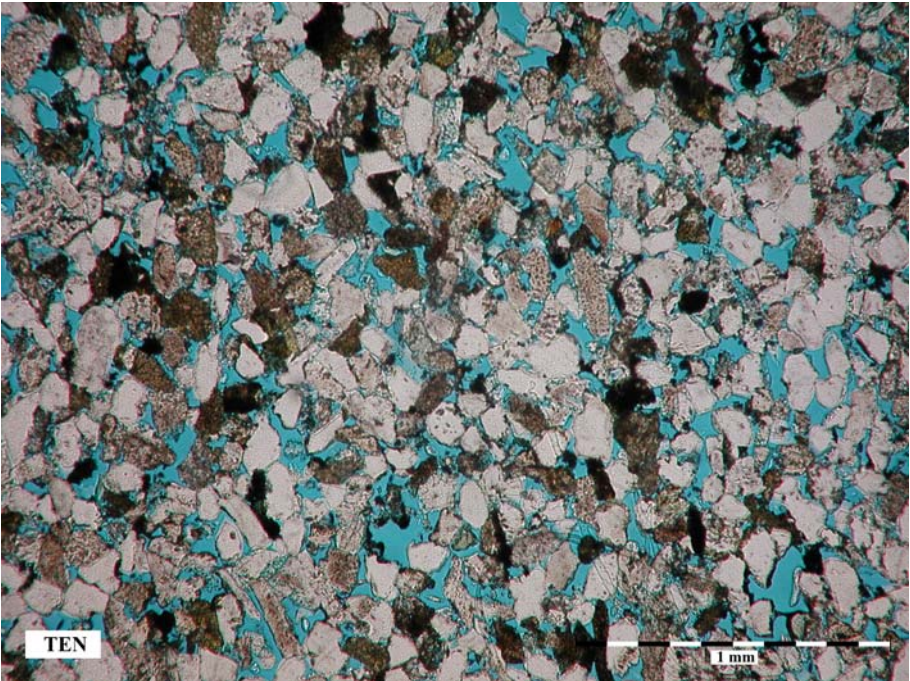
Megaskopischer Überblick		Probe KVG
Herkunft der Probe	Kleinvargula Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Kleinvargula	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	vorwiegend karbonatisch gebundener, graubrauner bis graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung		
Gesamtfarbe	hellgraubraun, hellgraugrün	
Detailfarben	feine rostbraune Schichtungen und Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung nachgezeichnet durch längliche Klasten und längliche tonig-ferritische Aggregate	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Bereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine des Schlosses und der Schlossbrücke in Herbsleben (16. Jh.),	
Literaturhinweise	SPEYER (1880), GRÄBE (1978)	

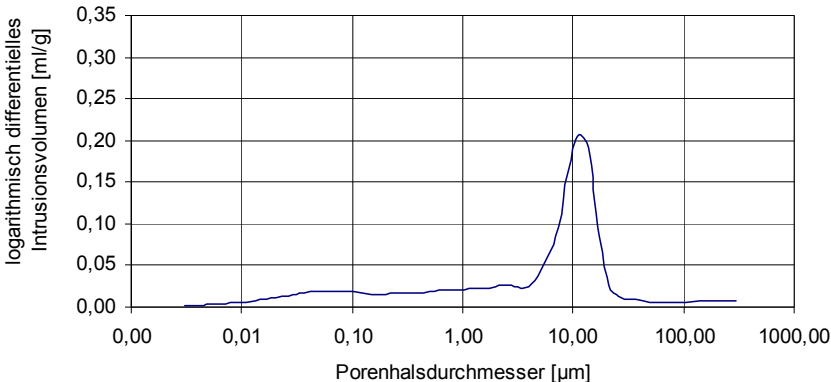


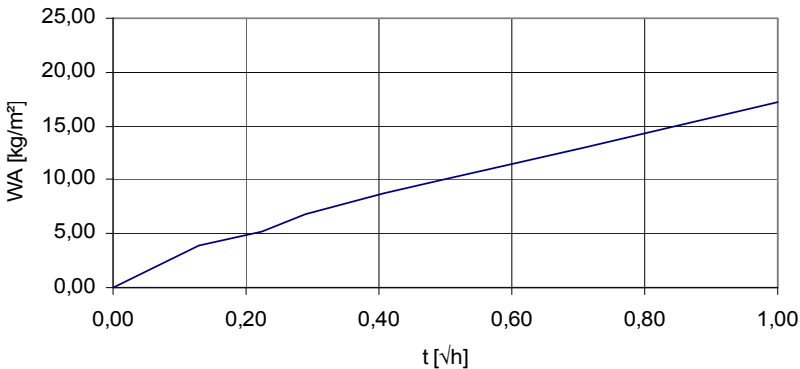
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe KVG
Herkunft der Probe	Kleinvargula	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr selten Muskovit	
	Grünliche Minerale: fehlen	
	Sonstiges: sehr wenige opake Körner	
Bindemittel	<p>Karbonat: ca. 20-25 %, kristallin, xenomorph Porenräume füllend, Einzelkristalle 0,10-0,16 mm, Aggregate 0,25-0,44 mm, 0,38x0,80 mm. Selten helle tonige und tonig-feinstglimmrige Aggregate.</p> <p>Außerhalb des karbonatischen Bindemittels sehr dünne ferritische Hüllen oder Teilhüllen um Klasten, auch ferritische Flocken und Porenauskleidung, Mäßige sekundäre SiO₂-Anlagerung</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>In karbonatischen Bereichen (oberer Bildteil) meist weitgehend dicht, geringer Anteil porös</p> <p>Bei SiO₂-Anlagerung meist ergänzte Kristallflächen</p>	
Sichtbarer Porenraum	Außerhalb der karbonatischen Bereiche, grobporös 0,05-0,15 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,06-0,09mm) 0,10-0,20 (-0,28 mm)	
	Kornformen: meist mehr oder weniger isometrisch, gering splittig	
Textur (Schichtung)	Schichtung vorhanden, durch längliche Körner und längliche tonig-ferritische Aggregate nachgezeichnet	
Sonstiges	ein sehr großer, länglicher Fossilrest	









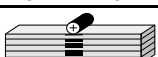





Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KVG
Herkunft der Probe		Kleinvargula	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,72	
Rohdichte	[g/cm³]	2,14	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79	
Gesamtporosität	[V.-%]	21,34	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	22,81	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,20	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe KVG</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	7,77	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,76	
Sättigungswert	[-]	0,79	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		57,30
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		7,45
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,54	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe KVG</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KVG
Herkunft der Probe		Kleinvargula	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		33,70
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		29,28
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		27,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		31,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,158
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,092

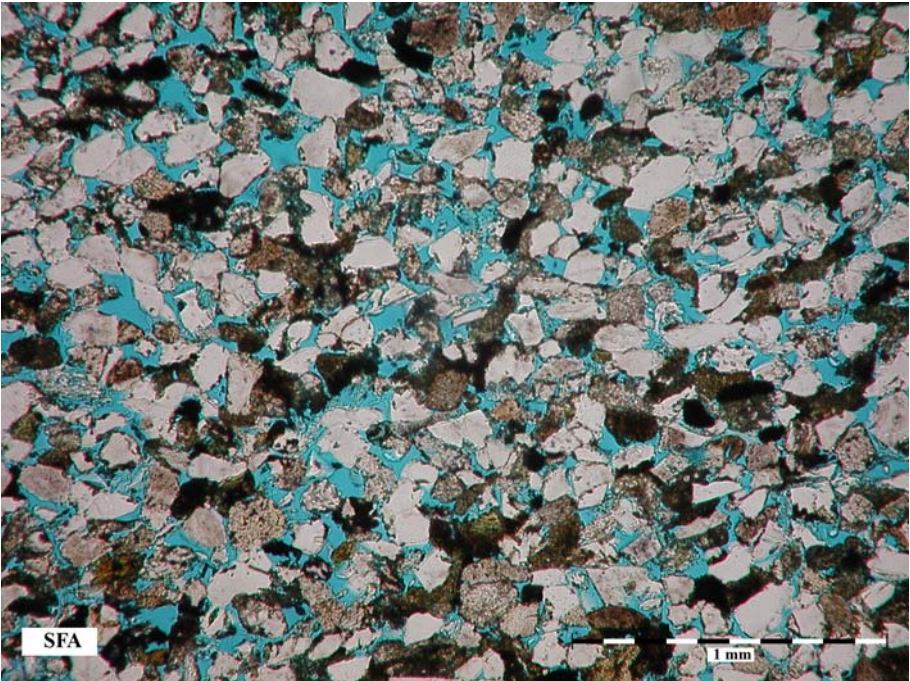
Megaskopischer Überblick		Probe TEN
Herkunft der Probe	Bad Tennstedt Material aus dem südlichen Steinbruch	
Abbauort	Bad Tennstedt	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig und tonig-glimmrig gebundener, gelbgrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgelbgrau, hellgelbgrün	
Detailfarben	feine schwärzliche Kohlelaminen und bräunliche Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Ausgeprägte Schichtung, Korngrößenwechsel, dünne kohlehaltige Lagen mit tonigen Bröckchen	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und gliedernde Werksteine der Hospitalskapelle (16. Jh.) und Mauerwerk (verputzt) vieler Gebäude in Bad Tennstädt	
Literaturhinweise	SPEYER (1880)	

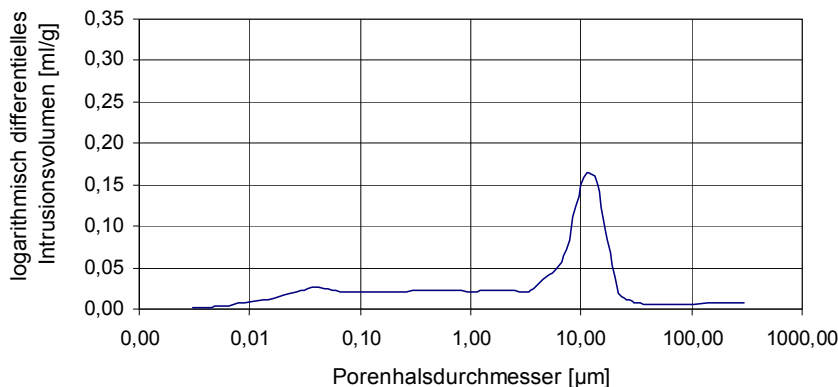


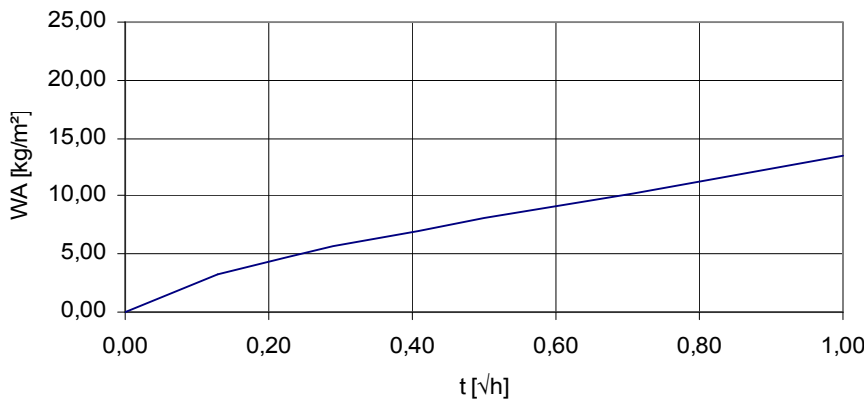
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe TEN
Herkunft der Probe	Bad Tennstedt	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: reichlich kurze Muskovitblättchen (um 0,15-0,20 mm), selten längere Muskovite (max. 0,6 mm), wenig Biotit (stark alteriert)	
	Grünliche Minerale: wenig chloritisierter Biotit, wenig grünliche Flocken	
	Sonstiges: reichlich opake Körnchen	
Bindemittel	graubraune tonige Bröckchen mit vielen kurzen Muskovitschuppen, braunen, alterierten Biotiten und ferritischen Flasern, häufig SiO ₂ -Anlagerungen	
Diagenese (Kornbindung)	durch sekundäres SiO ₂ weitmaschiges Gerüst aus Quarzkörnern, ca. 10-30 % der Korngrenzlinien sind unmittelbar gebunden (ergänzte Säume, z.T. ergänzte Kristallflächen), in bindemittelarmen Lagen grenzt fast jedes Korn an einen Porenraum, in bindemittelreichen Lagen zwischen den Klasten schlierenartig verlaufende tonige, z.T. auch feinfasrige Bindemasse	
Sichtbarer Porenraum	stark porös, kleine Poren 0,02x0,12 mm, große Poren 0,04x0,15 mm	
Struktur	Korngrößen: 0,04-0,06 mm / 0,07-0,18 mm (-0,20 mm)	
	Kornformen: isometrisch und splittig	
Textur (Schichtung)	ausgeprägte Schichtung, Korngrößenwechsel, kleinere Glimmer, dünne kohlehaltige Lagen mit tonigen Bröckchen, mehrer offene Spalten (ca. 0,1 mm breit) in Lagen mit hohem Anteil (ca. 50 %) an tonigen Bröckchen	
Sonstiges	In bindemittelreichen Lagen kohlige Partikel (0,02-0,12 mm) angereichert	









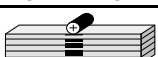





Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TEN
Herkunft der Probe		Bad Tennstedt	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,62	
Rohdichte	[g/cm³]	1,90	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,73	
Gesamtporosität	[V.-%]	27,42	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	26,50	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,37	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe TEN</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,93	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,77	
Sättigungswert	[-]	0,84	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		30,53
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		10,98
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,15	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe TEN</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TEN
Herkunft der Probe		Bad Tennstedt	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,70
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		22,78
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		18,50
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,10
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,70
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2789
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		1615
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4641
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,345
Hygrische Dehnung (25-95% r.F)	[mm/m]		0,298

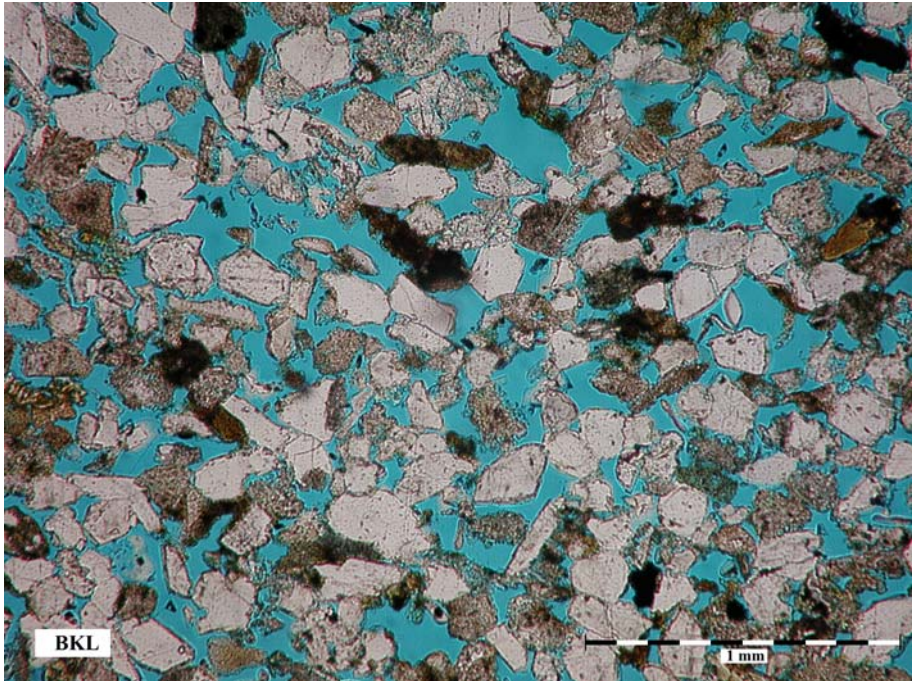
Megaskopischer Überblick		Probe SFA
Herkunft der Probe	Straußfurt Abbruchmaterial aus Straußfurt	
Abbauort	Straußfurt	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig und tonig-ferritischer gebundener, graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgraugrün	
Detailfarben	schwärzliche Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	deutliche Schichtung durch lange Glimmer	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gute Witterungsbeständigkeit. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Werksteine und Epitaphe an der Kirche (1484) in Straußfurt Kirche (18. Jh.) und Gartenmauern in Wundersleben	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

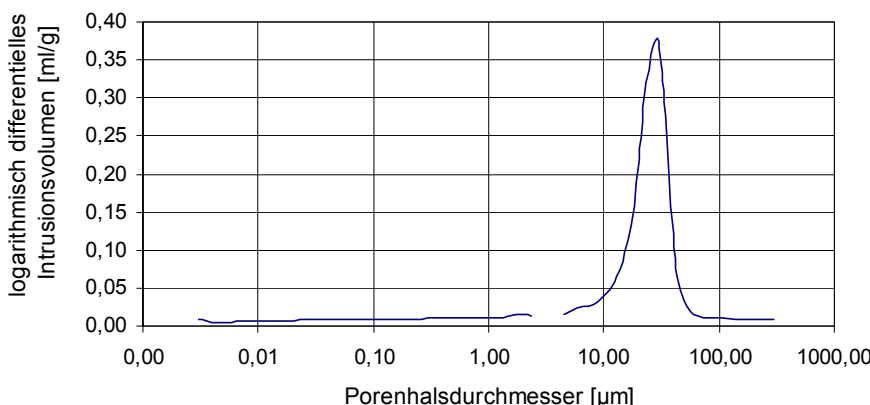


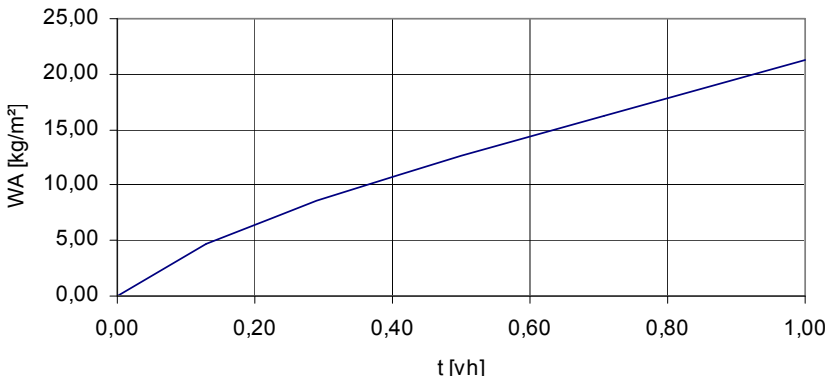
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe SFA
Herkunft der Probe	Straußfurt	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: mäßig lange Muskovite und braune, alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale	
	Sonstiges	
Bindemittel	reichlich helle tonig-feinschuppige Flecken und bräunliche, feinstflasrige Aggregate, ferritische Komponenten körnig feinverteilt und als flasrige Bindemittelmasse zwischen mehreren Körnern, geringe SiO ₂ -Anlagerungen	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung gering bis mäßig gut, nur wenige Quarze mit direkten Kornkontakten (10-30 % der Korngrenzlinie)	
Sichtbarer Porenraum	stark porös, 0,03-0,06 (-0,10 mm)	
Struktur	Korngrößen: (0,02-0,07) 0,10-0,15 (-0,20 mm)	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch, häufig kurzprismatisch, insgesamt vieleckig, weniger längliche Klaster	
Textur (Schichtung)	deutliche Schichtung durch lange Glimmer	
Sonstiges		








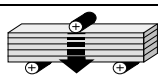
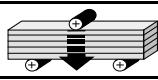
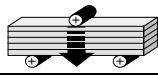
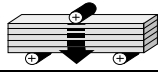
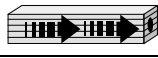


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SFA
Herkunft der Probe		Straußfurt	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,66	
Rohdichte	[g/cm³]	1,98	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74	
Gesamtporosität	[V.-%]	25,56	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,63	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,30	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe SFA</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,67	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	16,34	
Sättigungswert	[-]	0,77	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		30,96
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		9,51
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,05	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe SFA</p> 			

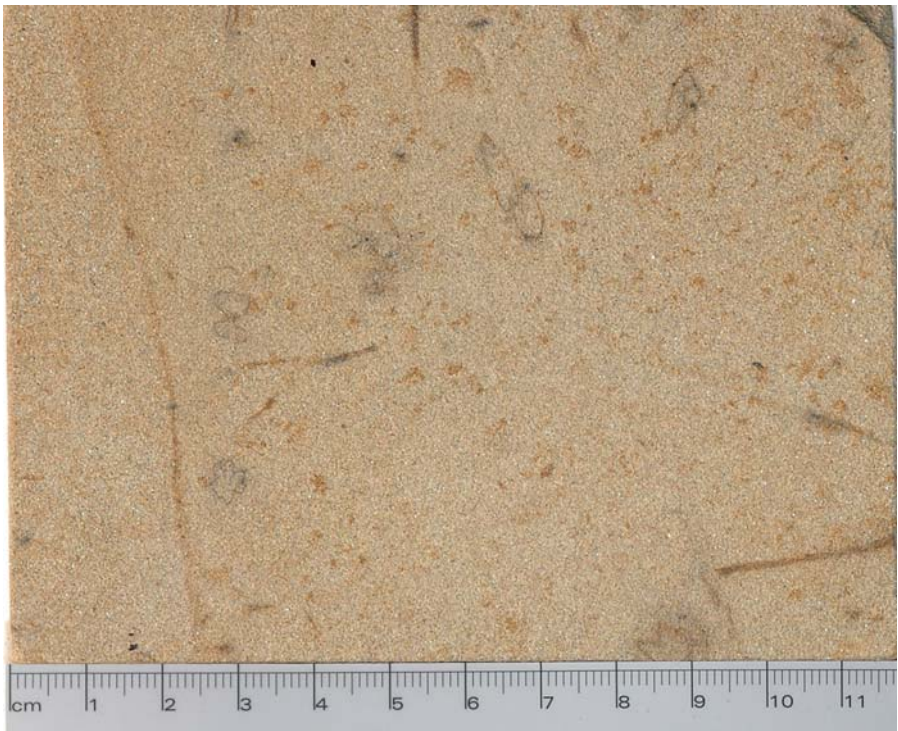
Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SFA
Herkunft der Probe		Straußfurt	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		18,15
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		17,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		14,98
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		14,80
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		15,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,10
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,23
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4295
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2530
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6577
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,292
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,167

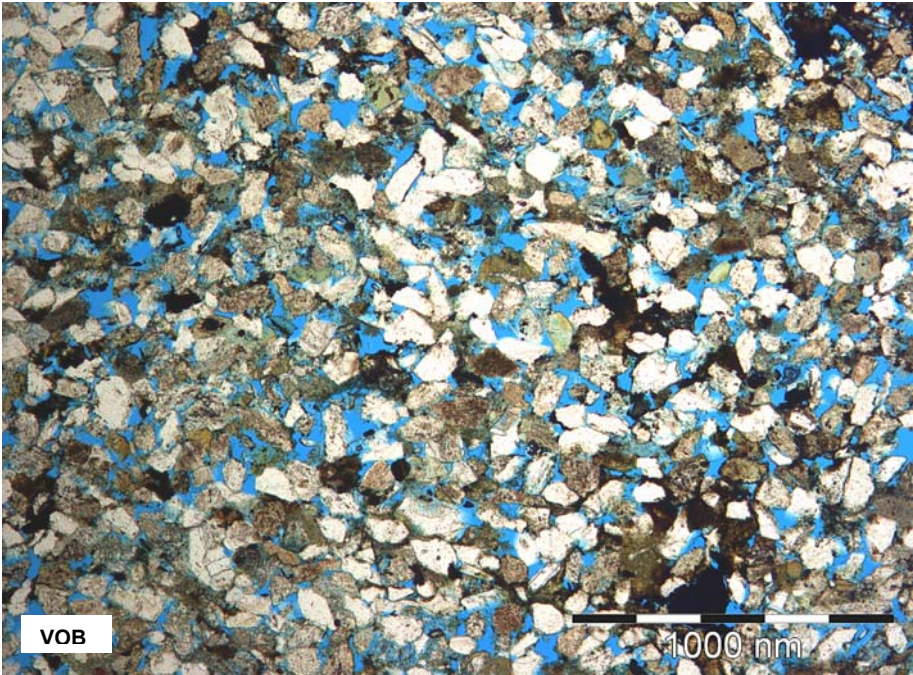
Megaskopischer Überblick		Probe BKL
Herkunft der Probe	Backleben Abbruchmaterial aus dem Steinbruch	
Abbauort	Backleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, graubrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgraubraun	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Fleckenbildungen und Schlieren	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung, markiert durch kohlige Schlieren	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk der Kirche in Backleben	
Literaturhinweise	SCHMID (1873)	

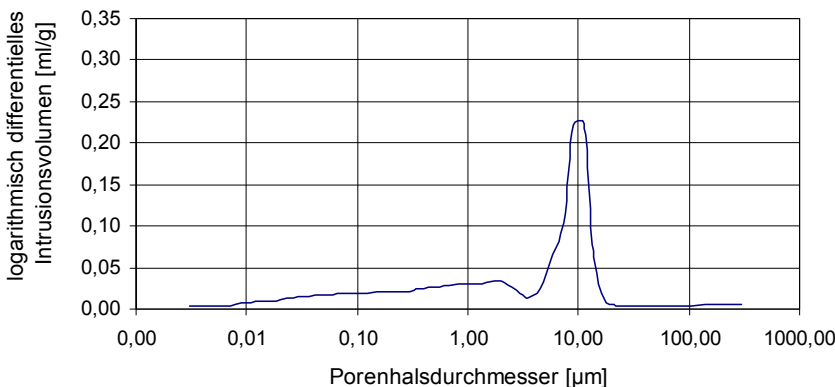


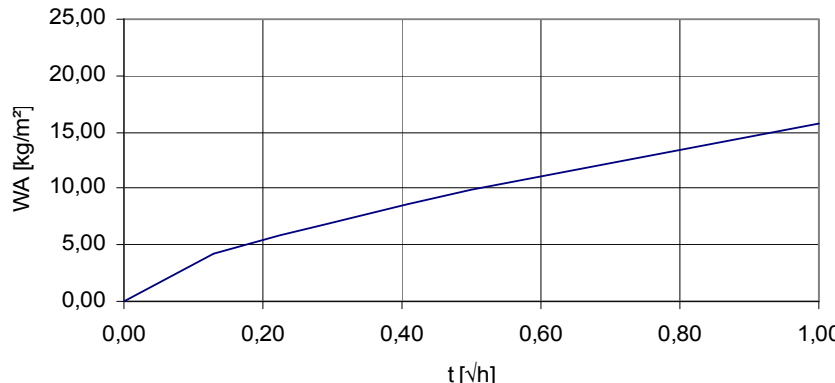
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe BKL
Herkunft der Probe	Backleben	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Gesteinsbruchstücke</p> <p>Feldspäte: relativ viele Orthoklase mit feinsten Durchstäubung (Eigenfarbe), sehr selten gering serizitisiert, sehr wenig Plagioklase (meist frisch)</p> <p>Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: wenige zerfaserte Muskovite, wenige kleine alterierte Biotite</p> <p>Grünliche Minerale: selten hellgrüne Flocken</p> <p>Sonstiges: kleine kohlige Reste, ein größerer Fossilrest</p>	
Bindemittel	<p>Helle und graubraune tonige Flocken (bis Quarzgröße), selten kleine braune und schwarze Partikel, -vereinzelt isolierte Karbonatsubstanz, kristallin zwischen mehreren Körnern (Einzelkristalle um 0,1-0,2 mm, Zwickelfülle bis 0,12 mm), -geringe sekundäre SiO₂-Anlagerungen, relativ häufig mit feinen Ausstülpungen in die Zwickel</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Wegen sehr geringer Bindemasse kaum mittelbare Bindung, wenige unmittelbare Kornkontakte, Kornbindung aufgelöst</p>	
Sichtbarer Porenraum	<p>Zusammenhängende völlig offene Porenräume</p>	
Struktur	<p>Korngrößen: (0,06-0,09) 0,12-0,21 (-0,25 mm)</p> <p>Kornformen: nur z.T. mehr oder weniger isometrisch, oft vieleckig und gedrunen, länglich</p>	
Textur (Schichtung)	<p>nicht beurteilbar</p>	
Sonstiges	<p>Probe nur bedingt auswertbar, wegen ausgesprochen hohem Porenraum mit isolierten Klasten (Eventuell Herauslösung toniger Bindemittelbestandteile bei der Dünnschliffpräparation?)</p>	








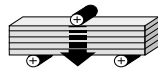
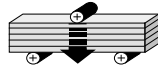

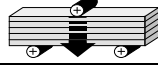
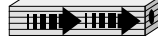


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BKL
Herkunft der Probe		Backleben	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,65	
Rohdichte	[g/cm³]	1,79	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,68	
Gesamtporosität	[V.-%]	32,45	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	31,28	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,70	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe BKL</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	12,59	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,60	
Sättigungswert	[-]	0,84	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		23,17
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		20,05
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,98	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe BKL</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BKL
Herkunft der Probe		Backleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		10,98
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		8,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,543
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,260

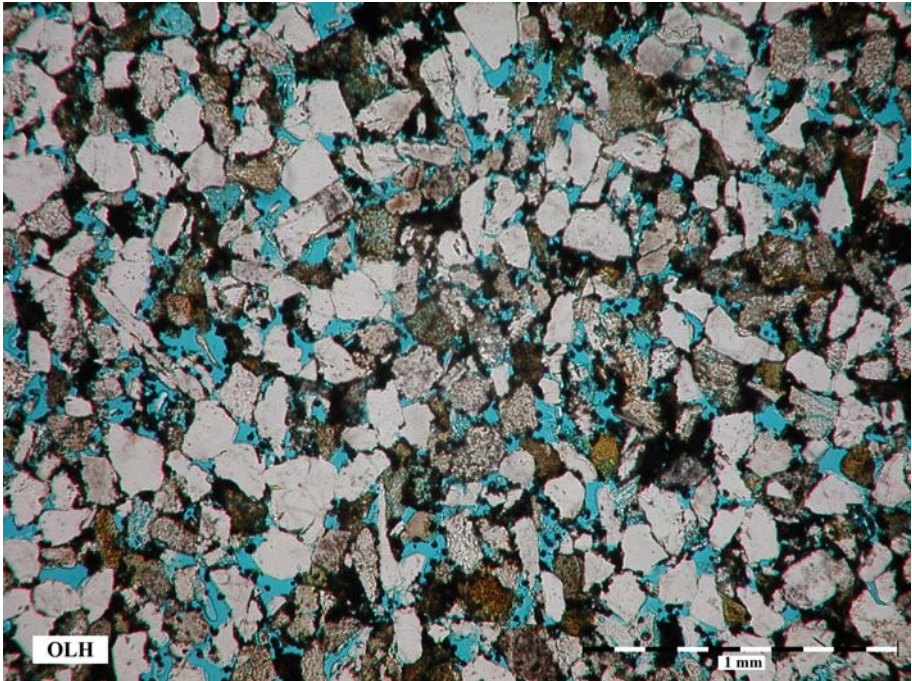
Megaskopischer Überblick		Probe VOB
Herkunft der Probe	Vogelsberg Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Vogelsberg	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-glimmrig und tonig-serizitisch gebundener, graubrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellbraun, graubraun	
Detailfarben	feine, schwärzliche Kohlelaminieren, eisenoxidbraune Streifen und Flecken	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung gering angedeutet durch Glimmer und z.T. streifige Bindemittelsubstanz	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Werk- und Bruchsteine (oft Mauersteine im verputzten Mauerwerk) an vielen Gebäuden in Vogelsberg	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

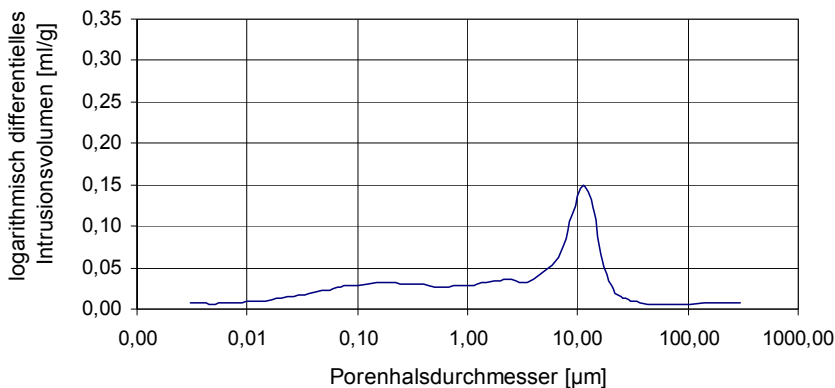


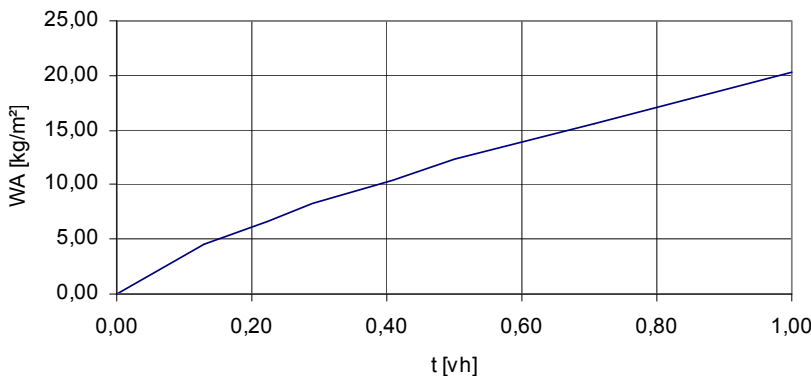
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe VOB
Herkunft der Probe	Vogelsberg	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: reichlich kurzfasrige Glimmer (Muskovit und Biotit), häufig in Umwandlung	
	Grünliche Minerale: wenige große grüne Flocken	
	Sonstiges	
Bindemittel	<p>reichlich helle und hellbräunliche Flocken (um 0,10 mm), tonig-serizitisch und tonig-glimmrige feinfasrige Substanz, wenige ferritisch pigmentierte tonige Aggregate</p> <p>hell- bis dunkelbraune ferritische Körner und Fetzen durchgehend verteilt, insgesamt ferritisch fein durchstäubt,</p> <p>Geringe sekundäre SiO₂-Anlagerung</p>	
Diagenese (Kornbindung)	Nur wenige Quarzkörner punktuell verbunden, durch reichlich tonige Substanz zwischen Klasten relativ enge Packung	
Sichtbarer Porenraum	Stark porös: 0,03-0,10 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,04-0,06) 0,09-0,12 (-0,16 mm)	
	Kornformen: isometrisch und splittig	
Textur (Schichtung)	Gering angedeutet durch Glimmer und z.T. streifige Bindemittelsubstanz	
Sonstiges	viele, meist kohlige Pflanzenreste	








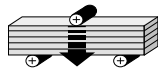
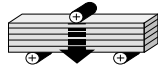
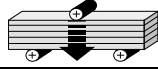
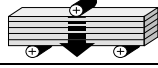



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe VOB
Herkunft der Probe		Vogelsberg	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,62	
Rohdichte	[g/cm³]	1,93	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74	
Gesamtporosität	[V.-%]	26,34	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,13	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,87	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe VOB</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	11,36	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,43	
Sättigungswert	[-]	0,81	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		40,33
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		11,84
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,06	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe VOB</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe VOB
Herkunft der Probe		Vogelsberg	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,60
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		15,95
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		15,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		12,97
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		8,20
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,80
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,65
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3572
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		1398
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5108
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,610
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,340

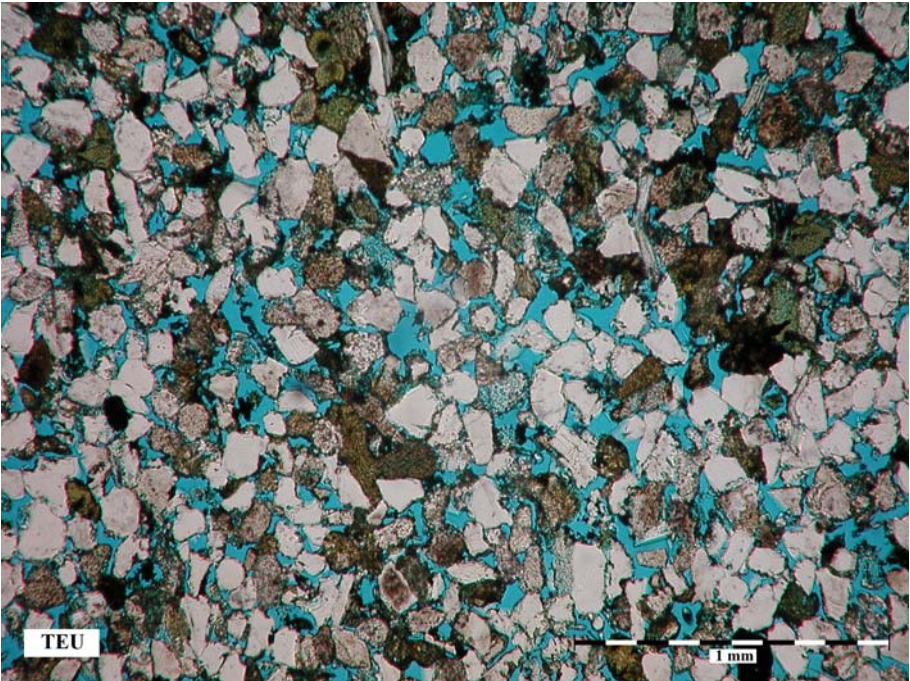
Megaskopischer Überblick		Probe OLH
Herkunft der Probe	Orlishausen Abbruchmaterial von der Kirche in Orlishausen	
Abbauort	Orlishausen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, gelbbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbbraun	
Detailfarben	Schwärzliche und bräunliche Fleckenbildungen und bräunliche Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	deutliche Schichtung, durch ferritische Partikel erkennbar	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Kirchmauer in Orlishausen	
Literaturhinweise	SCHMID (1873)	

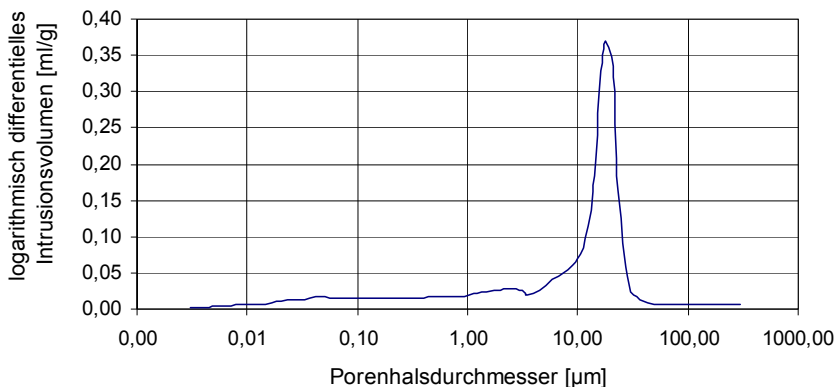


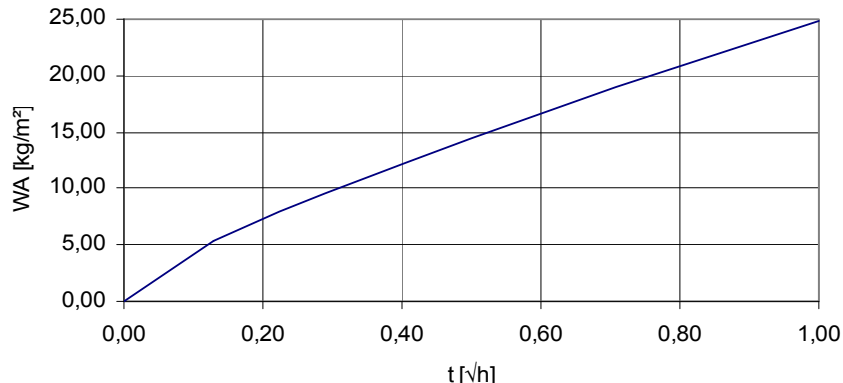
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe OLH
Herkunft der Probe	Orlishausen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig, meist alterierter Glimmer (Muskovit und Biotit)	
	Grünliche Minerale: selten hellgrüne Flocken	
	Sonstiges: Schliff von sehr kleinen opaken Partikeln (um 0,01 mm) durchstäubt	
Bindemittel	sehr reichlich ferritische opake Partikel (0,01-0,04 mm) reihenförmig und in Zwickeln gehäuft, auch breite Bereiche zwischen mehreren Klasten füllend und diese meist umschließend (ca. 10-15 %), sehr geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	mäßig enge Packung, Quarzkornbindung partiell durch ferritische Substanzen, meist ohne direkte Bindung wegen der kleinsten ferritischen Partikel bzw. der offenen Porosität	
Sichtbarer Porenraum	mäßig porös: 0,05-0,08 mm	
Struktur	Korngrößen: 0,07-0,20 (-0,25 mm)	
	Kornformen: häufig isometrisch, ca. 30 % unregelmäßig vielkantig, auch spießig und prismatisch	
Textur (Schichtung)	Deutliche Schichtung durch schichtige Anordnung ferritischer Partikel.	
Sonstiges		








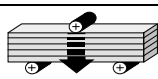
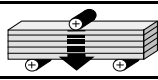
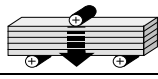
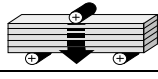
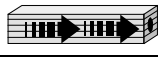


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe OLH
Herkunft der Probe		Orlishausen	
Gefügekenwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,66	
Rohdichte	[g/cm³]	1,91	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72	
Gesamtporosität	[V.-%]	28,20	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,27	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,59	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe OLH</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,88	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	15,85	
Sättigungswert	[-]	0,82	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		26,93
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		14,65
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,55	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe OLH</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe OLH
Herkunft der Probe		Orlishausen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		21,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		17,75
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		16,50
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17,60
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,300
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,158

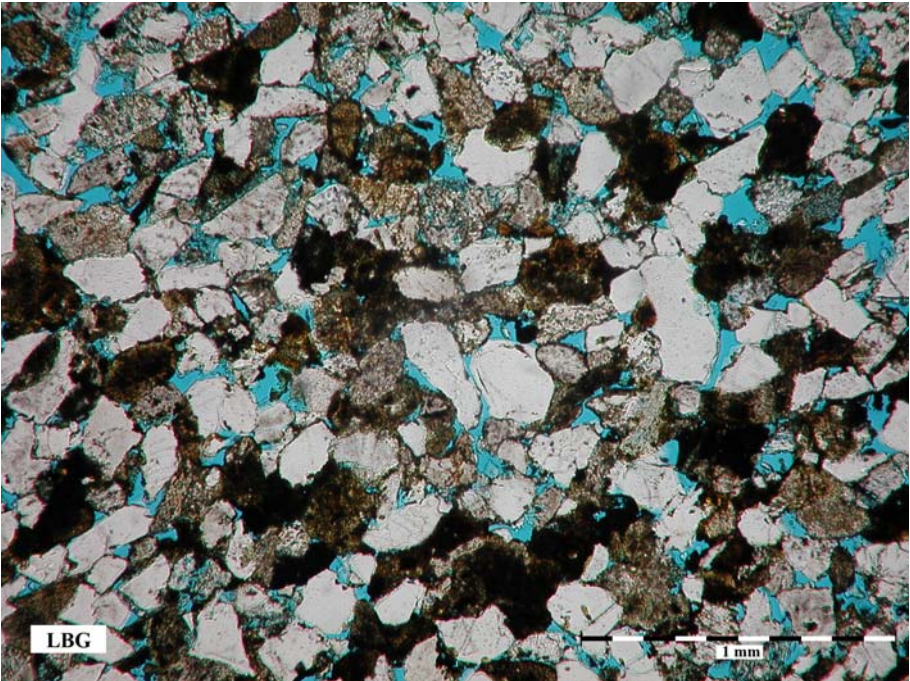
Megaskopischer Überblick		Probe TEU
Herkunft der Probe	Teutleben Material aus dem mittleren Steinbruch	
Abbauort	Teutleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, gelbbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbbraun, grünlichgrau, olivgrün	
Detailfarben	bräunliche Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	gering ausgeprägt, wenig lagenweise Bindemittelanreicherungen	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauer- und Werksteine an vielen Gebäuden in Teutleben und Eßleben Stein im Ortsbild präsent	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978), FISCHER (1999)	

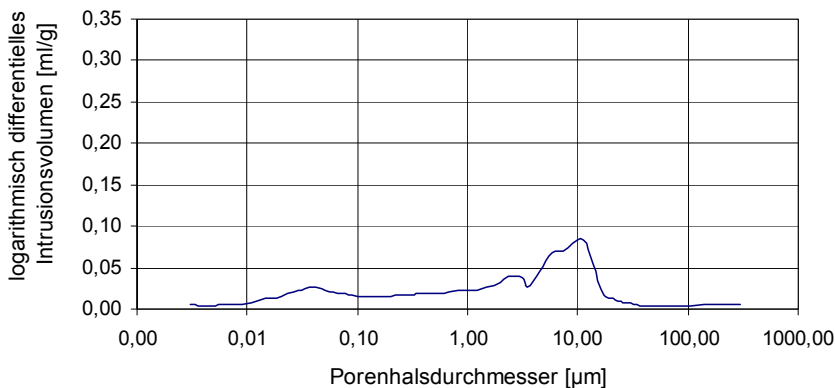


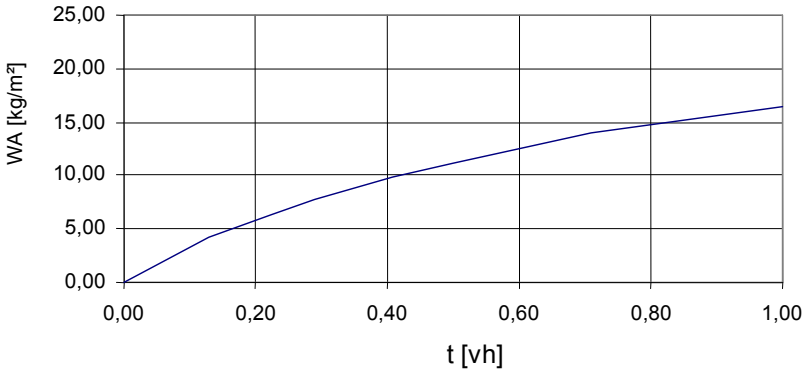
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe TEU
Herkunft der Probe	Teutleben	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig, meist Muskovit (oft lange Blättchen bis 0,5 mm)	
	Grünliche Minerale: in Zwickeln Chlorit, auch umgewandelte Biotite	
	Sonstiges	
Bindemittel	mäßig helle und grau tonige Aggregate, geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerungen, wenig ferritische Substanz	
Diagenese (Kornbindung)	sehr aufgeweitetes Korngefüge, Klasten z.T. isoliert liegend, selten längliche Quarzkornkontakte, z.T. dünne Tonhäute zwischen den Klasten	
Sichtbarer Porenraum	weitporig, zusammenhängende Porenräume	
Struktur	Korngrößen: (0,04-0,06) 0,07-0,15 (-0,20 mm)	
	Kornformen: isometrisch und länglich spitz zulaufend	
Textur (Schichtung)	gering ausgeprägt, wenig lagenweise Bindemittelanreicherungen	
Sonstiges		








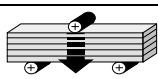
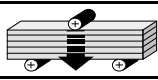
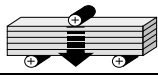
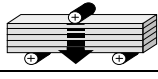
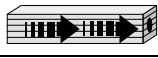


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TEU	
Herkunft der Probe		Teutleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,66		
Rohdichte	[g/cm³]	1,81		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,68		
Gesamtporosität	[V.-%]	31,95		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	31,48		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,37		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe TEU</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	12,97		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,12		
Sättigungswert	[-]	0,80		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		21,88	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		21,33	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,91		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe TEU</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TEU
Herkunft der Probe		Teutleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		19,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12,60
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		13,75
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		10,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9,30
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,30
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,90
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3522
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		1890
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4608
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,288
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,208

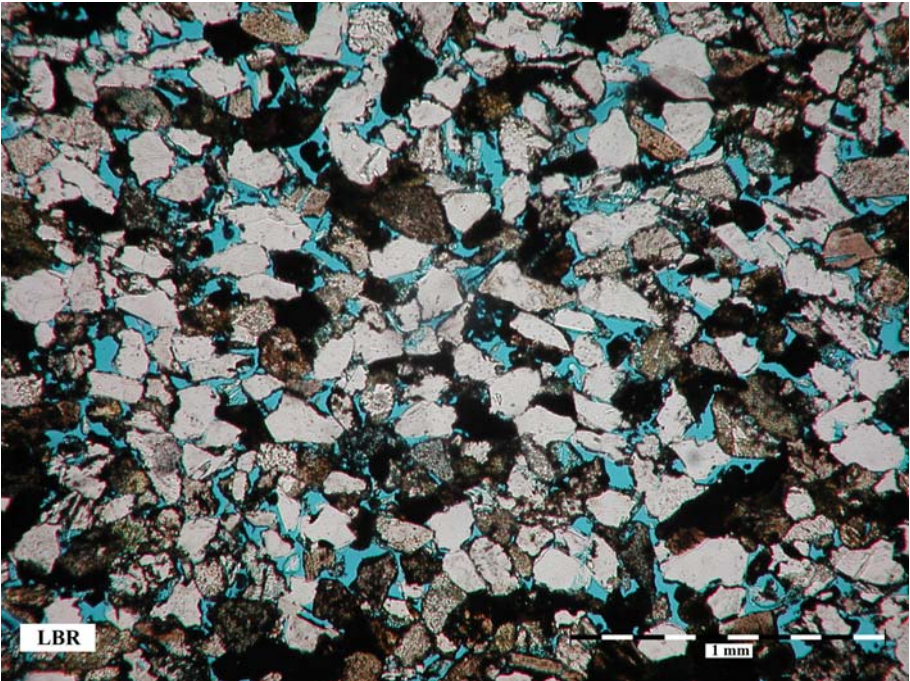
Megaskopischer Überblick		Probe LBG
Herkunft der Probe	Lauterbach Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Lauterbach	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, grüngelber, gelbbrauner feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	olivgrün, grüngelb, gelbbraun	
Detailfarben	ockerbraune Fleckenbildungen und Einschlüsse, kohlig schwärzliche Schlieren und Pflanzenreste	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Gering ausgebildet, angedeutet durch ferritische Substanz und Glimmer	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Sockel von Gebäuden in Berka v.d.H., Lauterbach und Bischofroda, Kirche (14. Jh.) und Schloss in Bischofroda, Mauerwerk der Kirche (18. Jh.) in Krauthausen	
Literaturhinweise	NAUMANN (1904), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), KATZSCHMANN ET AL. (2006)	

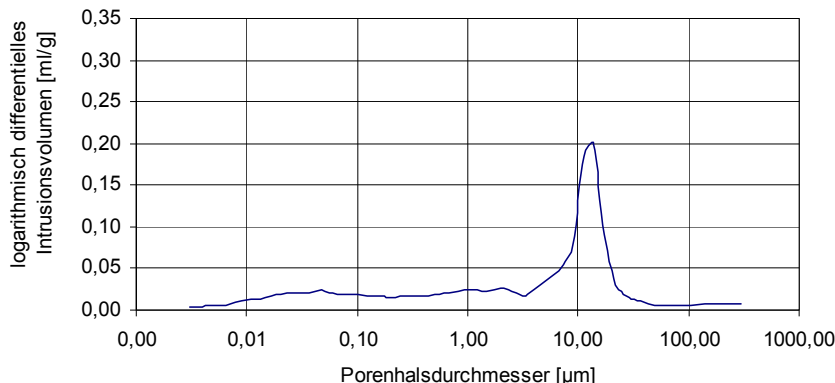


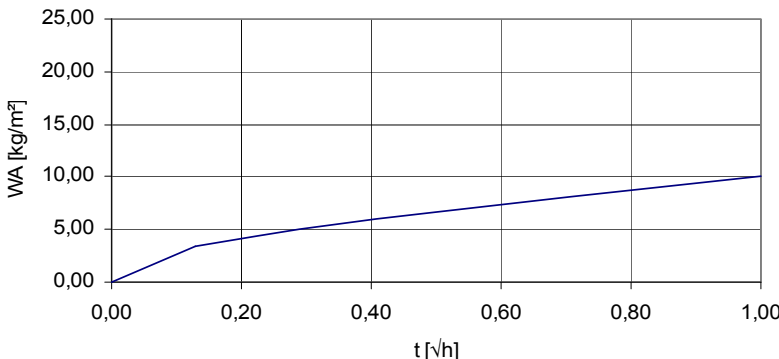
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe LBG
Herkunft der Probe	Lauterbach	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: häufig kleine Muskovite und gebleichte Biotite, vereinzelt lange Muskovite, z.T. verbogen	
	Grünliche Minerale: fehlen	
Bindemittel	Sonstiges	
	Kleine tonig-ferritische Aggregate, Häufig kleine und große bis sehr große (5 mm), braune, tonige Schluff-aggregate (im Bild unten), flasrig zwischen mehreren Klasten, lange und runde Brocken, davon die kleineren über den gesamten Schliff angereichert (Anteil ca. 10-15 %). Geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Packung insgesamt relativ eng, viele Kornkontakte, punktförmig bis zu langen Kontaktflächen, häufig Wechsel zwischen relativ enger und relativ weiter Packung, enge Packung infolge vieler kleiner Körner zwischen größeren körnern und durch kleine Ton-Schluff-Flasern	
Sichtbarer Porenraum	mäßig porös 0,02-0,10 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,10) 0,12-0,25 (-0,35 mm)	
	Kornformen: neben isometrischen relativ viele unregelmäßig längliche und spitze Körner, geringe Sortierung	
Textur (Schichtung)	gering ausgebildet, angedeutet durch ferritische Substanz, lange Muskovite und plattige Quarzkörner	
Sonstiges	ein sehr großes, kohliges Pflanzenstück in Schichtung eingeregelt	








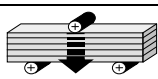
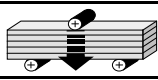
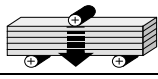
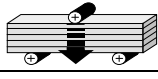
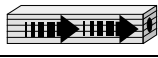


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe LBG	
Herkunft der Probe		Lauterbach		
Gefügekenwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,66		
Rohdichte	[g/cm³]	2,00		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,75		
Gesamtporosität	[V.-%]	24,81		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	21,62		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,64		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe LBG</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,85		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,20		
Sättigungswert	[-]	0,76		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		44,53	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		7,94	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,51		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe LBG</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe LBG
Herkunft der Probe		Lauterbach	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		20,50
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		15,55
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		20,20
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,30
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,65
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6500
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3350
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4910
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,453
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,342

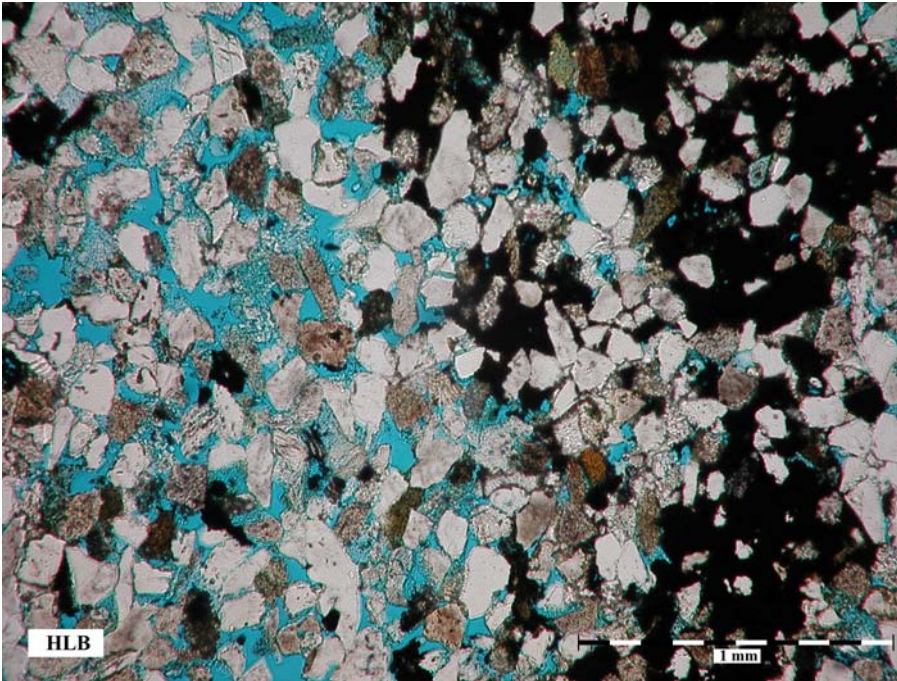
Megaskopischer Überblick		Probe LBR
Herkunft der Probe	Lauterbach Abbruchmaterial aus dem Ort	
Abbauort	Lauterbach	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch gebundener, rotbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	rotbraun, violettbraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	nur angedeutet durch längliche ferritische Aggregate und eingeregelte Klasten	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Sockel von Gebäuden in Berka v.d.H., Lauterbach und Bischofroda, Kirche (14. Jh.) und Schloss in Bischofroda	
Literaturhinweise	NAUMANN (1904), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), KATZSCHMANN ET AL. (2006)	

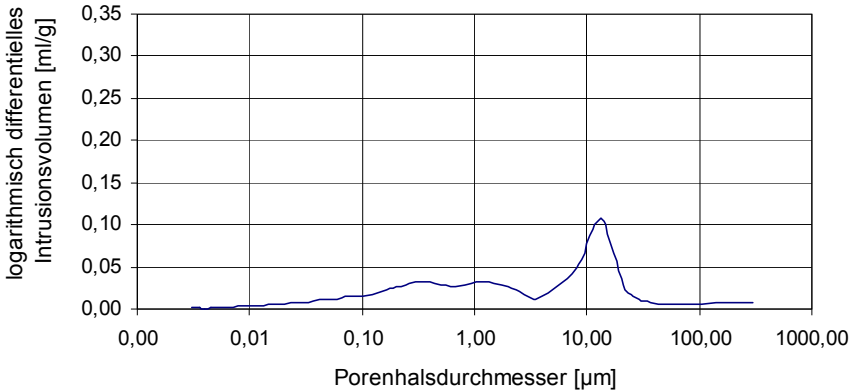


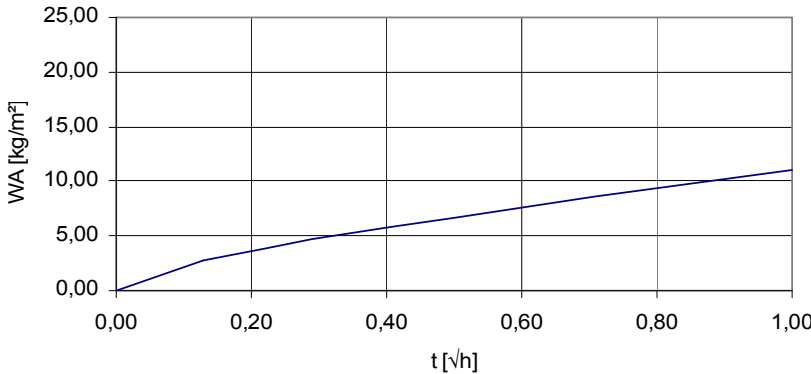
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe LBR
Herkunft der Probe	Lauterbach	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: reichlich, meist Orthoklas, mäßig serizitisiert, Plagioklas verzwillingt, völlig frisch	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig, meist Muskovit	
	Grünliche Minerale: sehr selten, feinschuppige Aggregate (serizitisch/chloritisch)	
Bindemittel	Dünne ferritische Hüllen um die Quarzkörner (50-90 % der Korngrenze besetzt) dazu reichlich schwarzbraune und opake ferritische Partikel und Aggregate zwischen mehreren Klasten. Reichlich sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Packung insgesamt relativ eng durch ferritische Substanzen, splittige Kornformen, ferritische Anreicherungen in größeren Bereichen, durch relativ hohe Kornbindungszahl mit 1-2 längeren Kontaktflächen und Ausfüllung von Porenräumen durch opake Substanzen	
Sichtbarer Porenraum	in Bereichen stärkerer ferritischer Bindung sehr gering porös, sonst mäßig porös 0,02-0,05 (-0,10 mm)	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,07) 0,10-0,22 (-0,25 mm), ferritische Aggregate: 0,10x0,56 / 0,2x0,32mm, ferritische Körner: 0,1x0,12 bis 0,22x0,35 mm	
	Kornformen: meist unregelmäßig länglich und splittig	
Textur (Schichtung)	nur angedeutet durch längliche ferritische Aggregate und eingeregelter Klasten	
Sonstiges		








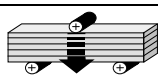
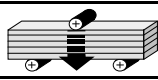
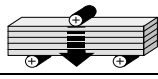
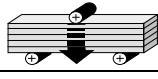
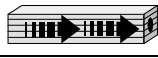


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe LBR
Herkunft der Probe		Lauterbach	
Gefügekenwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,72	
Rohdichte	[g/cm³]	2,05	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,75	
Gesamtporosität	[V.-%]	24,59	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	26,28	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,29	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe LBR</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,55	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,83	
Sättigungswert	[-]	0,81	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		58,37
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		7,99
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,30	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe LBR</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe LBR
Herkunft der Probe		Lauterbach	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		44,60
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		33,45
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		19,30
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		34,70
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,07
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9083
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3650
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12483
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,117
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,058

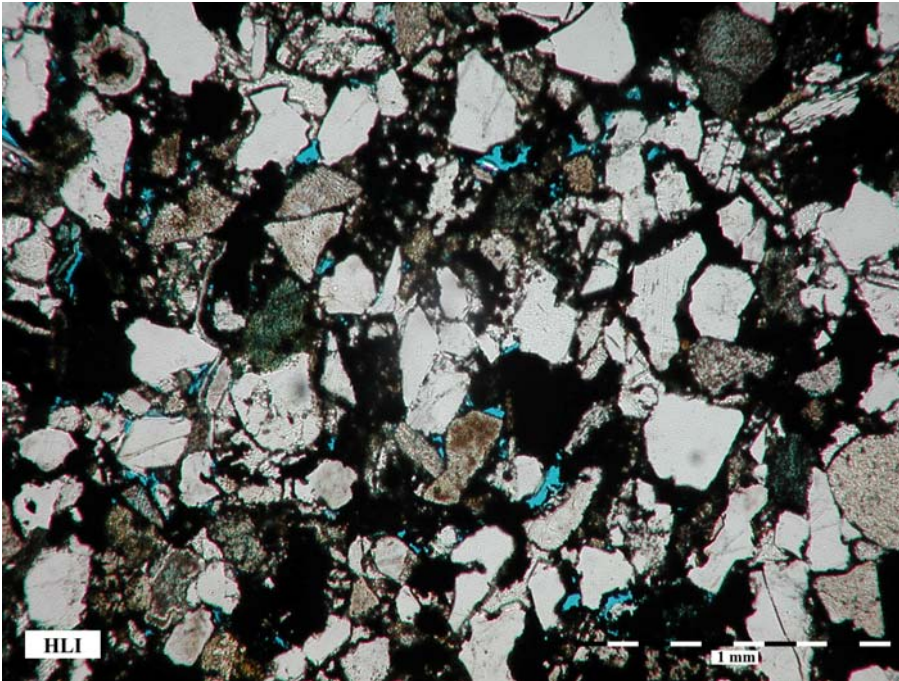
Megaskopischer Überblick		Probe HLB
Herkunft der Probe	Henningsleben Abbruchmaterial aus Illeben	
Abbauort	Henningsleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und karbonatisch gebundener, graubrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	Gelbbraun, graubraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	gering angedeutet durch längliche ferritische Anreicherungen und Muskovite	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk der verputzten Kirche (16. Jh.) in Illeben	
Literaturhinweise	NAUMANN (1905)	

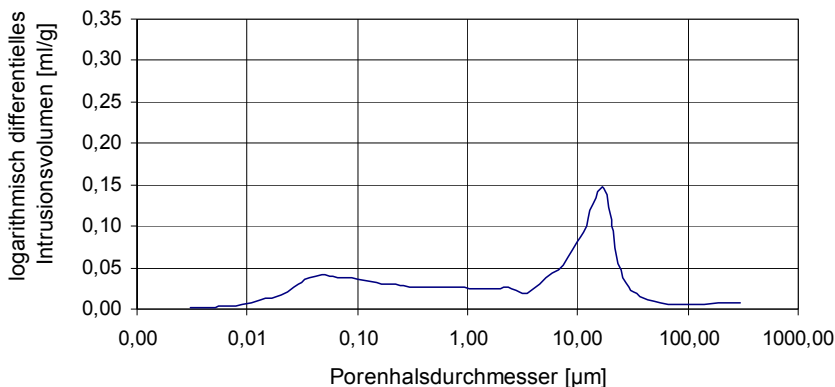


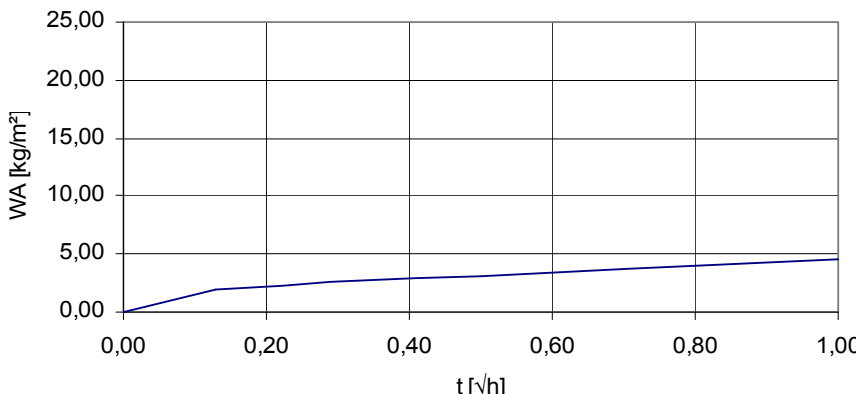
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HLB
Herkunft der Probe	Henningsleben	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz</p> <p>Feldspäte: reichlich Orthoklas, mäßig bis stark serizitisiert,</p> <p>Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: sehr selten Muskovite und alterierte Biotite</p> <p>Grünliche Minerale: selten grünliche körnige Komponenten</p>	
Bindemittel	<p>Ferritische Substanz: braun bis opak als große, unregelmäßig geformte Flecken, Flasern und Streifen mit eingeschlossenen Klasten (im Bild rechts)</p> <p>Karbonat: Anteil ca. 10 %, kleine Kristalle zwischen Klasten oder in Zwickeln, xenomorph: 0,04x0,08, 0,08x0,16-0,16x0,28 mm, oft nahe der ferritischen Substanzen angereichert</p> <p>Kleine helle, tonig-feinstglimmrige Aggregate,</p> <p>Geringe sekundäre SiO₂-Anlagerungen (nur außerhalb der ferritischen Substanzen), nur selten längere Quarzkornkontakte</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Ferritische Substanz als Stützfülle, darin isolierte Klasten. Karbonat in kleinen Partien verdichtend. Außerhalb davon: porös, insgesamt nur geringe Bindung</p>	
Sichtbarer Porenraum	<p>In Bereichen stärkerer ferritischer und karbonatischer Bindung sehr gering porös, sonst: 0,03-0,08 8-0,10 mm)</p>	
Struktur	<p>Korngrößen: in ferritischen Bereichen 0,04-0,15 mm, sonst (0,04-0,06) 0,09-0,20 (-0,25 mm)</p>	
	<p>Kornformen: meist isometrisch, z. T. vieleckig, wenige rundlich</p>	
Textur (Schichtung)	<p>gering angedeutet durch längliche ferritische Anreicherungen und Muskovite</p>	
Sonstiges	<p>ein großer toniger Schluffbrocken eingelagert</p>	








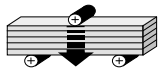
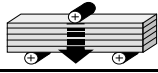
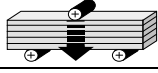
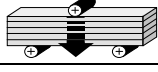

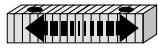

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HLB	
Herkunft der Probe		Henningsleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,66		
Rohdichte	[g/cm³]	1,95		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,73		
Gesamtporosität	[V.-%]	26,69		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	21,11		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	2,61		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe HLB</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,53		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,92		
Sättigungswert	[-]	0,82		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		46,79	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		9,12	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,85		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HLB</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HLB
Herkunft der Probe		Henningsleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,90
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		20,18
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		16,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13,60
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,149
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,056

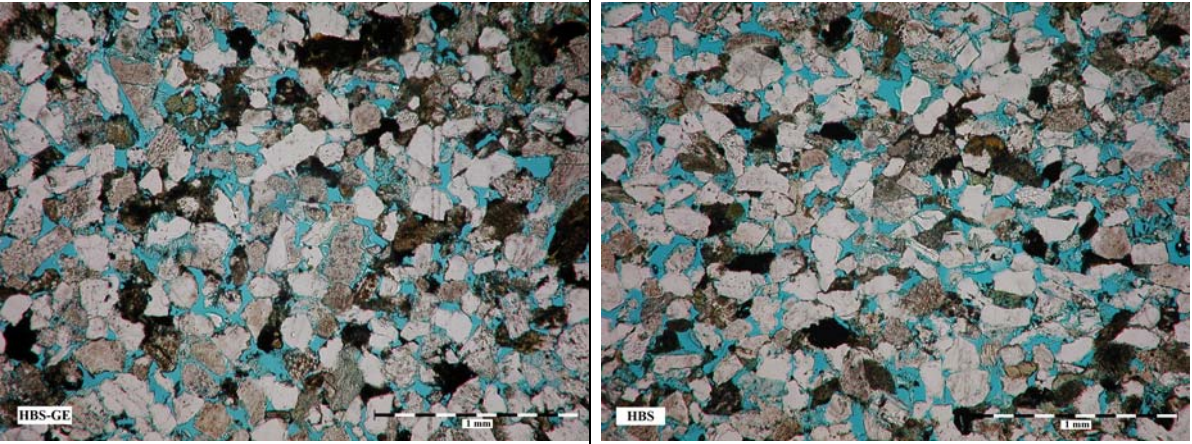
Megaskopischer Überblick		Probe HLI
Herkunft der Probe	Henningsleben Abbruchmaterial aus Illeben	
Abbauort	Henningsleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch gebundener, rotbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	rotbraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	gering angedeutet durch linsenförmige Bereiche mit ferritischen Substanzen	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk der verputzten Kirche (16. Jh.) in Illeben	
Literaturhinweise	NAUMANN (1905)	

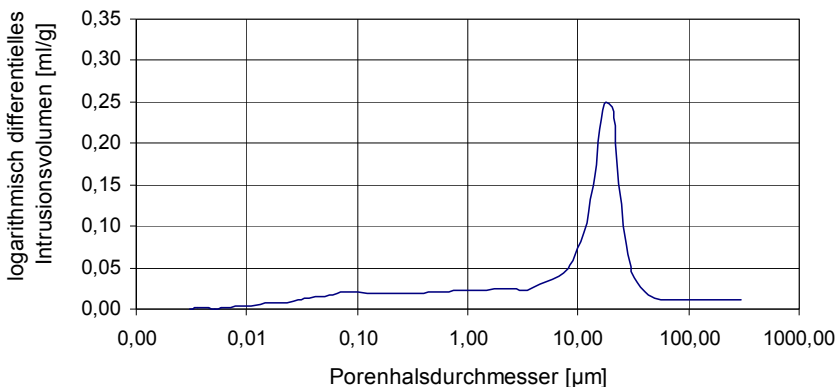


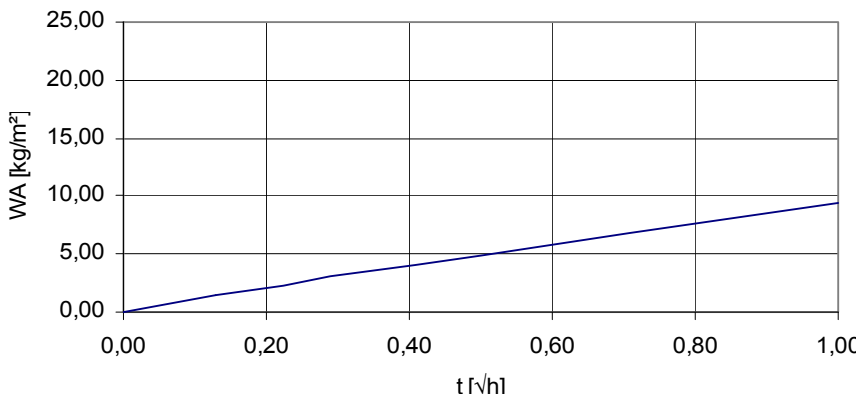
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HLI
Herkunft der Probe	Henningsleben	
Abbildung		
Komponenten	Quarz, Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: selten kleine Muskovitblättchen, wenige alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale: wenige dunkelgrüne, schuppige, chloritartige Aggregate	
Bindemittel	<p>Ferritische Substanz: ca. 25-40 %, dunkel- bis schwarzbraun, fast durchgängig zwischen mehreren Klasten, breite Zwischenräume und Zwickel füllend, z.T. in Streifen stärker angereichert, auch Partikel bis 0,5x0,6 mm</p> <p>Karbonat: Anteil am gesamten Schliff ca. 1 %, in einem Teilbereich des Schliffs ca. 6 %, kleine Kristalle in Zwickeln und streifig angereichert (0,04-0,25 mm). Geringe sekundäre SiO₂-Anlagerungen</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Ferritische Substanz in Streifen als Stützzement, sonst in breiten Hüllen. Durch ferritische und karbonatische Substanzen weitgehend dichte Packung.</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anlagerungen z.T. als unterbrochene, z.T. als vollständige Säume zu Porenräumen hin, nur punktförmige Kontakte zu wenigen benachbarten Körnern</p>	
Sichtbarer Porenraum	In Bereichen mit wenig ferritischer Substanz größere Poren (bis 0,10 mm, z.T. länglich 0,06x0,38 mm), insgesamt viele kleine Poren um 0,5 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,09) 0,10-0,25 (-0,35 mm)	
	Kornformen: größere Körner meist unregelmäßig vieleckig, kurzprismatisch, kleinere Körner meist splittig	
Textur (Schichtung)	gering angedeutet durch linsenförmige Bereiche ferritischer Substanzen	








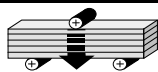
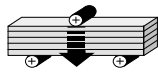
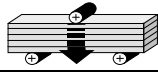
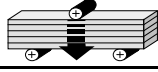


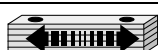
Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HLI	
Herkunft der Probe		Henningsleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,70		
Rohdichte	[g/cm³]	2,08		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,77		
Gesamtporosität	[V.-%]	22,97		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,55		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	2,74		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe HLI</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,74		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,36		
Sättigungswert	[-]	0,79		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		53,66	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		3,19	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,85		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HLI</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HLI
Herkunft der Probe		Henningsleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		56,08
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		23,50
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		41,06
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		23,00
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		30,81
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		22,90
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4,80
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,63
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		14785
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		8823
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		18604
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,142
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,038

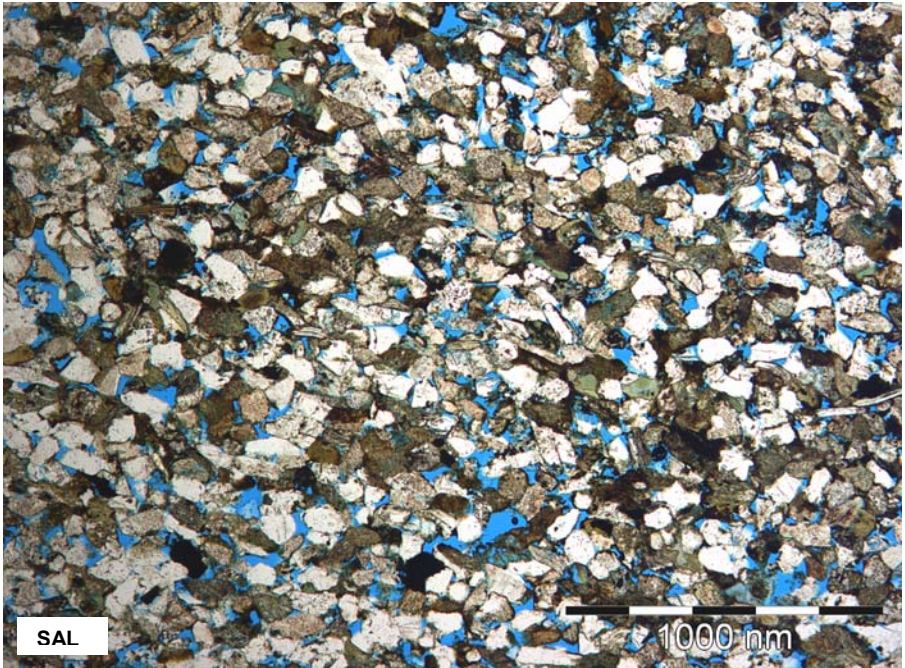
Megaskopischer Überblick		Probe HBS
Herkunft der Probe	Herbsleben Abbruchmaterial vom Schloss in Herbsleben	
Abbauort	Herbsleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch, z.T. auch karbonatisch gebundener, gelbbrauner und graugrüner, glimmerreicher, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
		
Abbildungen	links gelbbraune, rechts graugrüne Varietät Musterplatten trocken, Oberfläche gesägt	
Gesamtfarbe	gelbbraun, gelbgrün, graugrün, olivgrün	
Detailfarben	feine Kohlelaminen, schwärzlich, braune Schichtungen und Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung kaum erkennbar, durch einzelne Glimmer und längliche tonig-ferritische Aggregate angedeutet	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an Gesimsen und Sohlbänken mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Herbsleben: Mauerwerk und Werksteine von Kirche, Schloss, Schlossbrücke	
Literaturhinweise	SPEYER (1883), GRÄBE (1978)	

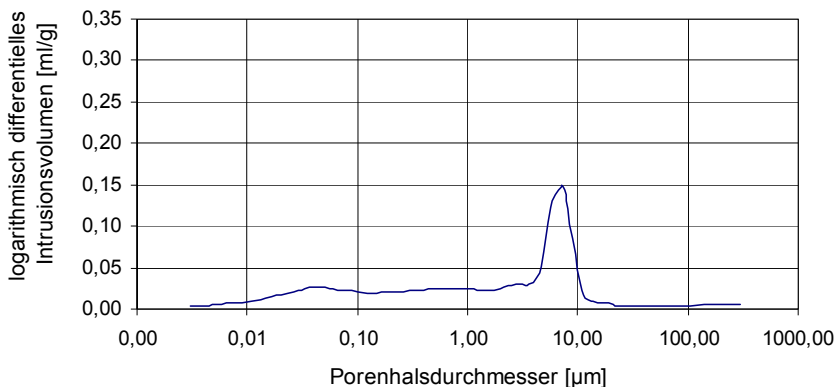


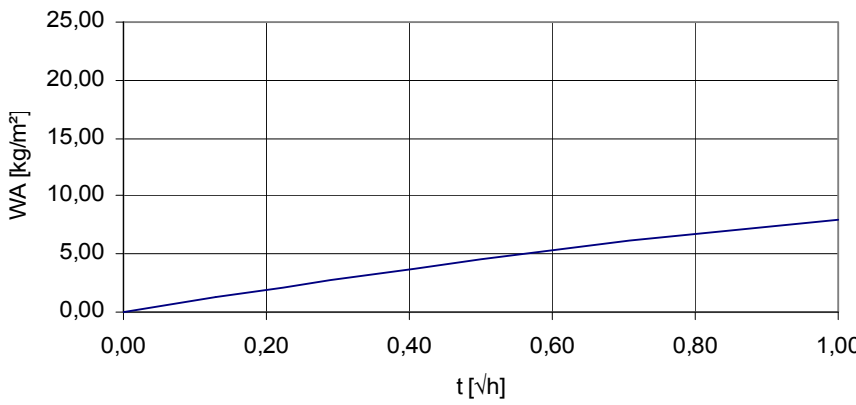
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HBS
Herkunft der Probe	Herbsleben	
		
Abbildungen	linkes gelbbraune, rechts graugrüne Varietät	
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: relativ viele Orthoklase mit geringer bis starker Serizitprossung, wenig, meist frische Plagioklase	
	Gesteinsbruchstücke: relativ viele kleine Gesteinsbruchstücke, überwiegend aus Serizitschuppen bestehend	
	Glimmer: Viele kleine kurzblättrige Muskovite und Biotite, meist aufgespalten. Wenig alterierter Biotit, ferritisch pigmentiert, stellenweise stärker angereichert.	
	Grünliche Minerale: wenige grünliche Flocken, schuppige Struktur, Chlorit	
Bindemittel	<p>Linkes Bild: In vielen fleckenartigen Bereichen dunkelbraune ferritische Substanz angereichert, sonst einzelne Flocken und opake Körner (0,07x0,07 - 0,12x0,38 mm, wenig helle tonige (feinstblättrige) Aggregate, meist in größeren Poren. Geringe sekundäre SiO₂-Anlagerung</p> <p>Rechtes Bild: Karbonat: nur wenig fleckenhaft gehäuft (hier ca. 10 %), sonst zwischen mehreren Klasten in verschiedenen Größen, am gesamten Schliff weniger 1 %, sekundäre SiO₂-Anlagerungen nicht eindeutig auszumachen</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Linkes Bild: In bindemittelreichen, ferritischen Abschnitten relativ dichte Packung (im Bild rechts oben). Bindung über breite Hüllen und z.T. Stützzement, hier keine direkte Quarzkornbindung. Sonst geringe Bindung, wenig tonige oder ferritische Substanzen, wenig Quarzkornkontakte (in Bildmitte)</p> <p>Rechtes Bild: Kornbindung nicht auswertbar, da stark porös und isolierte Einzelkörner.</p>	
Sichtbarer Porenraum	Mittlere Porosität: 0,04-0,12 8(-0,15 mm), z.T. nur ein Gerüst von Mineral-körnern, kleine Kornverbände und isolierte Körner, verzweigtes Porensystem	
Struktur	Korngrößen: (0,06-0,09) 0,10-0,22 (-0,30 mm)	
	Kornformen: ca. 50 % isometrisch, ca. 50 % unregelmäßig vieleckig	
Textur (Schichtung)	Schichtung kaum erkennbar, durch einzelne Glimmer und längliche tonig-ferritische Aggregate angedeutet	








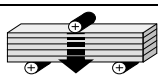
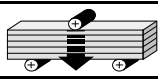
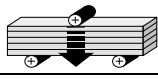
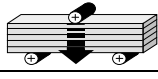
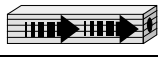


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HBS	
Herkunft der Probe		Herbsleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,67		
Rohdichte	[g/cm³]	1,92		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72		
Gesamtporosität	[V.-%]	28,09		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,44		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,03		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe HBS</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,49		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,76		
Sättigungswert	[-]	0,85		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		39,00	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		9,02	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,86		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HBS</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HBS
Herkunft der Probe		Herbsleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		16,50
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,30
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,10
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4370
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2551
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6908
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,150
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,045

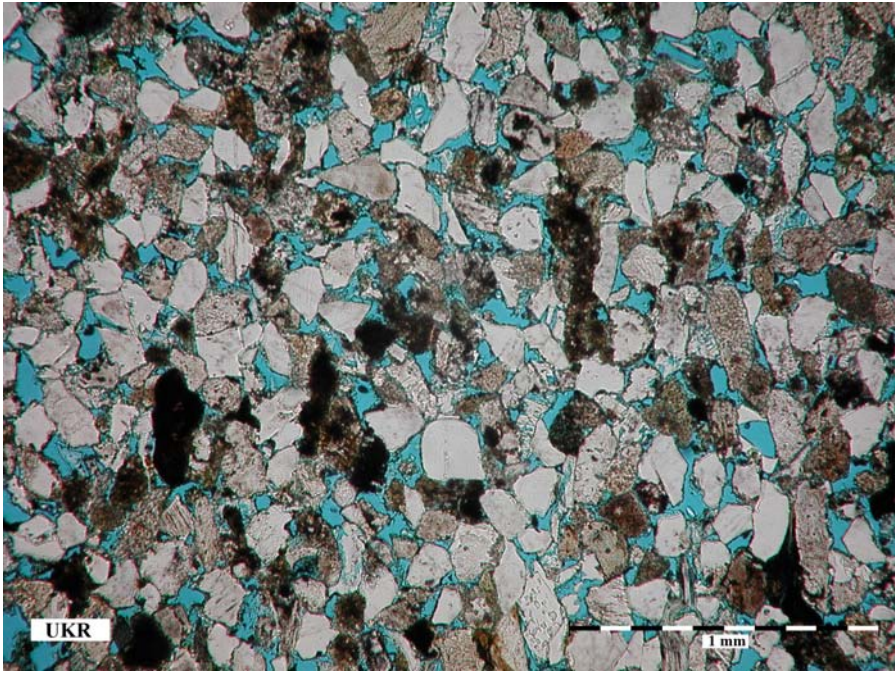
Megaskopischer Überblick		Probe SAL
Herkunft der Probe	Salomonsborn Anstehendes Gestein während des Baus der Autobahn A 71	
Abbauort		
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig und tonig-glimmrig gebundener, graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgraugrün	
Detailfarben	feine schwärzliche Kohlelaminien	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung angedeutet durch dünne Glimmerlagen	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Vergleichbare Sandsteine waren wahrscheinlich die Lettenkeupersandsteine aus Kleinfahner, Witterda und Tiefthal, deren Steinbrüche nicht mehr existieren.	
Literaturhinweise	SPEYER (1883), GRÄBE (1978)	

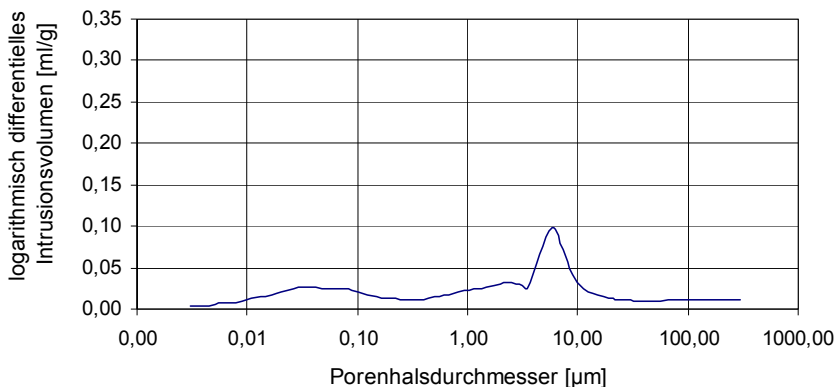


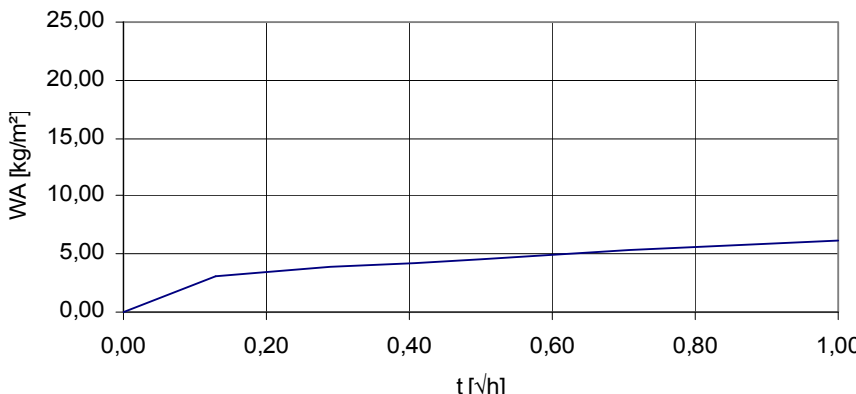
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe SAL
Herkunft der Probe	Salomonsborn	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: reichlich kurze Muskovitblättchen (um 0,15 mm), selten längere Muskovite (um 0,4 max. 0,75 mm), sehr reichlich Biotit (stark alteriert), meist um 0,12-0,24 mm, fein ferritisch durchsetzt, bräunlich verwittert, z.T. beginnende Bleichung	
	Grünliche Minerale: leichte Vergrünung der Biotite, möglicherweise in Verwitterung begriffene Glaukonitkörner	
Bindemittel	Sehr dünne ferritische Hüllen und Teilhüllen an ca. 40 % der Klasten, tonige schwach ferritische Porenfüllung, einzelne dunkelbraune bis opake ferritische, kleinfleckige Anreicherungen. Geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerungen	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung mäßig, da viel tonige Porenfülle. Ca. 60 % der Klasten mit hellbraunen und braunen tonig-ferritischen Hüllen und Teilhüllen. SiO ₂ -Anlagerungen meist als kleine Ausstülpungen in Zwickel. Wegen ferritischer Hüllen nur wenige fleckenhafte Partien aus wenigen Klasten mit direkter Bindung.	
Sichtbarer Porenraum	mäßig porös: 0,02-0,06 mm	
Struktur	Korngrößen: 0,04-0,12 (-0,15 mm)	
	Kornformen: isometrisch und vieleckig, selten rundlich	
Textur (Schichtung)	Einregelung vorhanden, mit dünnen Glimmerlagen aus kleinen Muskoviten und Biotiten	
Sonstiges		









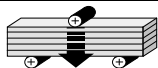
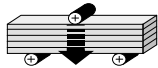
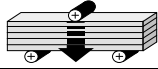



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SAL
Herkunft der Probe		Salomonsborn	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,60	
Rohdichte	[g/cm³]	2,05	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79	
Gesamtporosität	[V.-%]	21,15	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	22,12	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,09	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe SAL</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,10	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,78	
Sättigungswert	[-]	0,80	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		58,94
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		7,59
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,97	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe SAL</p> 			

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SAL
Herkunft der Probe		Salomonsborn	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		33,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,90
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		24,65
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		19,20
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,80
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4,60
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,10
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6222
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2924
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9107
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,125
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,098

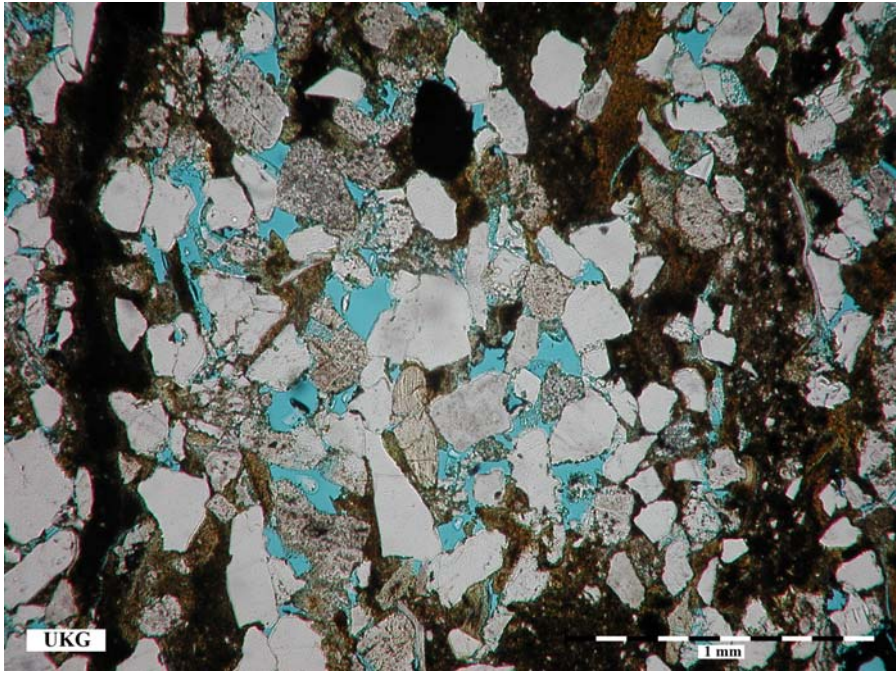
Megaskopischer Überblick		Probe UKR
Herkunft der Probe	Erfurt Abbruchmaterial aus dem Ursulinenkloster	
Abbauort	Erfurt	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, graubrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgraubraun	
Detailfarben	feine, schwärzliche Kohlelaminen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung schwach erkennbar durch Kohlelaminen und eingeregelter Glimmer	
Verwitterungsverhalten	<p>Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen sehr schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten, freibewitterten Bauteilen nur wenig besser.</p> <p>Schadbilder: intensives Abblättern, Absanden, Schalenbildung</p>	
Verwendungsbeispiele	<p>Sehr häufig im Mauerwerk des mittelalterlichen Gebäudebestandes in Erfurt. Hier immer ursprünglich verputzt oder im Innenraum (Kellergewölbe) verwendet.</p> <p>Erfurt: Dom, Gewölbemauerwerk des Kreuzganges (13./14. Jh.) Alte Syngoge (13./14. Jh.), Ursulinenkloster (14. Jh.), Horngasse 3 (13. Jh.), Futterstraße 17 (15. Jh.), Marktstraße 50 (15. Jh.). Teile des Bogenmauerwerks der Krämerbrücke (14. Jh.), Michaelisstraße 9 (15. Jh.)</p>	
Literaturhinweise	ROBACK (1840)	

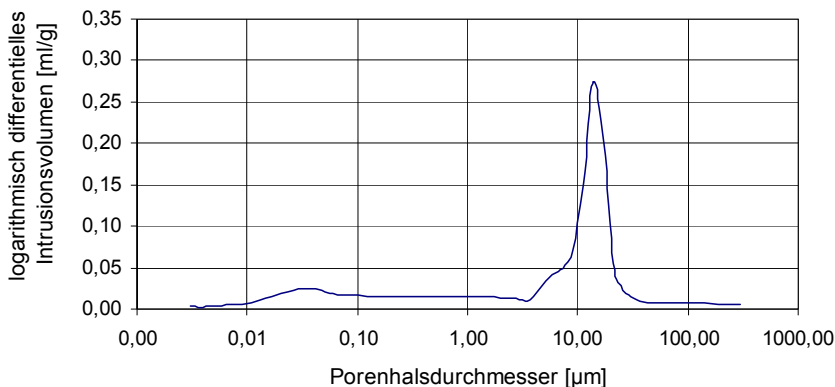


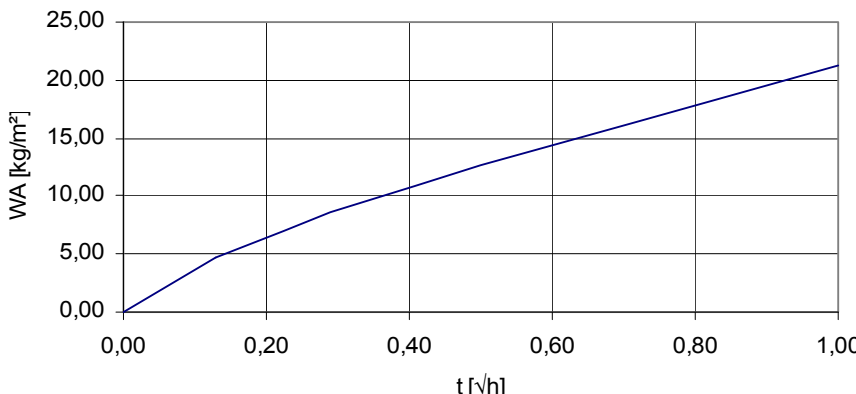
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe UKR
Herkunft der Probe	Erfurt	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: selten Muskovit, z.T. sehr lang (bis 0,7 mm), häufig alterierter Biotit: braun, stark ferritisch durchsetzt und oft in größeren flasrigen Aggregaten (um 0,12x0,32 bis 0,2x0,5 mm)	
	Grünliche Minerale	
Bindemittel	wenige helle tonige Flocken, reichlich hell- bis dunkelbraune, tonig-ferritische, fetzenartige Aggregate, oft kleine und größere opake ferritische Partikel bzw. formlose Aggregate in unregelmäßigen Porenräumen; Karbonat: Anteil weit unter 1%, kleine isometrische bis kurzprismatische Kristalle nur z.T. Poren ausfüllend, annähernd idiomorphe Kristalle (um 0,06x0,15 mm) ; sekundäre SiO ₂ - Anlagerung an vielen Quarzkörpern, aber insgesamt gering	
Diagenese (Kornbindung)	mäßige bis geringe Bindung und Packung durch tonige und ferritische Substanzen; in bindemittelärmeren Partien: Kornverbände z.T. punktförmige, z.T. kurze direkte Kornkontakte (30 -40 % der Korngrenzlinie); keine ebenen Kristallflächen ergänzt	
Sichtbarer Porenraum	mäßig bis stark porös: 0,06-0,12 mm	
Struktur	Korngrößen: 0,10-0,22 (-0,32 mm)	
	Kornformen: meist unregelmäßig vieleckig und splittig, relativ häufig langprismatisch	
Textur (Schichtung)	Einregelung von Muskoviten und alterierten, flasrigen Biotiten, ferritischen Aggregaten und langprismatischen Klasten	









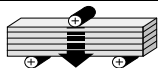
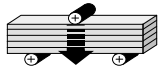
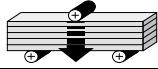



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe UKR
Herkunft der Probe		Erfurt	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	2,07	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79	
Gesamtporosität	[V.-%]	21,29	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	20,29	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,49	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe UKR</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	7,81	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,69	
Sättigungswert	[-]	0,83	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		57,38
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		2,34
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,18	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe UKR</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe UKR
Herkunft der Probe		Erfurt	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		43,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		28,48
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		18,98
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		28,55
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,40
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,70
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4280
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		1198
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9564
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,492
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,438

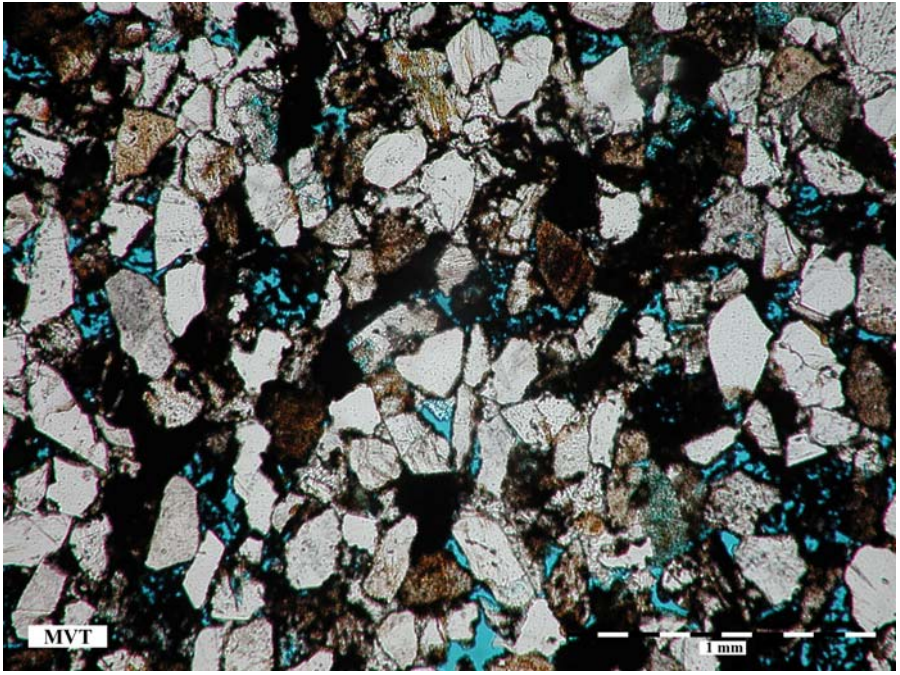
Megaskopischer Überblick		Probe UKG
Herkunft der Probe	Erfurt Abbruchmaterial aus dem Ursulinenkloster	
Abbauort	Erfurt	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung		
Gesamtfarbe	hellgrün, graugrün, olivgrün	
Detailfarben	feine, schwärzliche Kohlelaminen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung stark ausgeprägt, durch schluffige und kohlige Lagen, eingeregelter Glimmer und Kohlelaminen	
Verwitterungsverhalten	Bei Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen sehr schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten, freibewitterten Bauteilen nur wenig besser. Schadbilder: intensives Abblättern, Absanden, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Sehr häufig im Mauerwerk des mittelalterlichen Gebäudebestandes in Erfurt. Hier immer ursprünglich verputzt oder im Innenraum (Kellergewölbe) verwendet. Erfurt: Dom, Gewölbemauerwerk des Kreuzganges (13./14. Jh.) Alte Syangoge (13./14. Jh.), Ursulinenkloster (14. Jh.), Horngasse 3 (13. Jh.), Futterstraße 17 (15. Jh.), Marktstraße 50 (15. Jh.). Teile des Bogenmauerwerks der Krämerbrücke (14. Jh.), Michaelisstraße 9 (15. Jh.)	
Literaturhinweise	ROBACK (1840)	

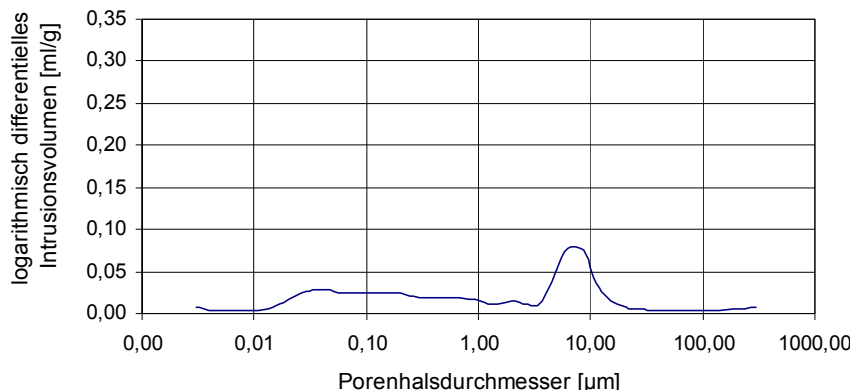


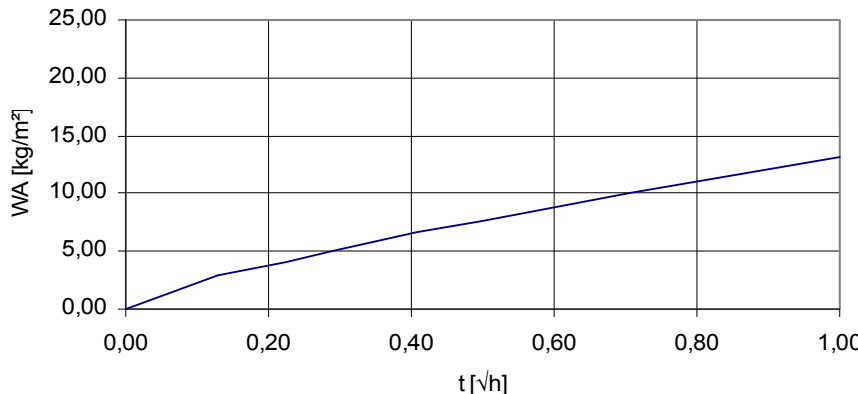
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe UKG
Herkunft der Probe	Erfurt	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: mäßig kurze und lange Muskovite (bis 0,5 mm), gebleichte Biotite, z.T. ferritisch pigmentiert (0,25-0,5 mm lang), Glimmer meist stark verbogen, z.T. auffasernd.</p> <p>Sonstiges: Große, ferritisch durchsetzte, hell- bis dunkelbraune und grau-braune schluffige Tonbrocken, -flasern und -schlieren mit randlich eingedrückten Klasten (Bild: linker Rand); oft von langen Glimmern umgeben (Bild: rechter Rand)</p>	
Bindemittel	<p>helle tonige, feinstschuppige Aggregate ohne scharfe Umgrenzung (bröckchen-, fetzen- und flaserartig) (Bild: mittlerer Abschnitt) ; sekundäre SiO₂-Anlagerung: relativ reichlich</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>kohlige und Tonflasern u. -schlieren oft schichtig aufgespalten (Risse 0,005-0,01 mm breit), Klasten nur z.T. durch ferritische Flasern und helle Tonaggregate verbunden (geringe „Bindekraft“), in breiteren klastenreichen Lagen: Körner z.T. isoliert, z.T. Punktkontakte oder geringfügige direkte Bindung über 10-30 % der Korngrenzlinie, solche Partien stark porös und geringe Packung, in bindemittelreichen, flach linsenförmigen Partien relativ mäßige Packung</p>	
Sichtbarer Porenraum	<p>in tonarmen Partien: stark mittel- bis grobporös, oft unregelmäßig geformt und verzweigt: 0,06-0,20 mm; 0,17x0,32 mm</p>	
Struktur	Korngrößen: 0,05- 0,20 (-0,30, selten bis 0,44 mm)	
	Kornformen: sehr unregelmäßig, häufig splittig	
Textur (Schichtung)	<p>stark schichtig durch schluffige und kohlige Lagen (z.T. Verband gelöst), tonige und ferritische Flasern und lange Glimmer</p>	
Sonstiges	<p>mehrere kohlige Linsen, eine durchgehende kohlige Lage (in kleine polygonale Bröckchen aufgelöst) ; Fossilbruchstücke: ca. 2-3 % Anteil (bräunlich, grünlich, isotrop): sehr lange Gebilde, ovale Querschnitte</p>	









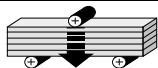
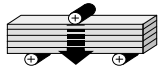
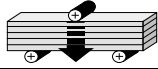



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe UKG
Herkunft der Probe		Erfurt	
Gefügekenwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,68	
Rohdichte	[g/cm³]	1,95	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,73	
Gesamtporosität	[V.-%]	27,24	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	26,36	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,23	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe UKG</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,54	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,33	
Sättigungswert	[-]	0,79	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		29,73
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		17,83
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,05	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe UKG</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe UKG
Herkunft der Probe		Erfurt	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		21,40
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		18,40
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		16,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		13,45
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		12,77
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		10,08
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12,70
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,00
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,67
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2957
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2041
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4601
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,683
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,442

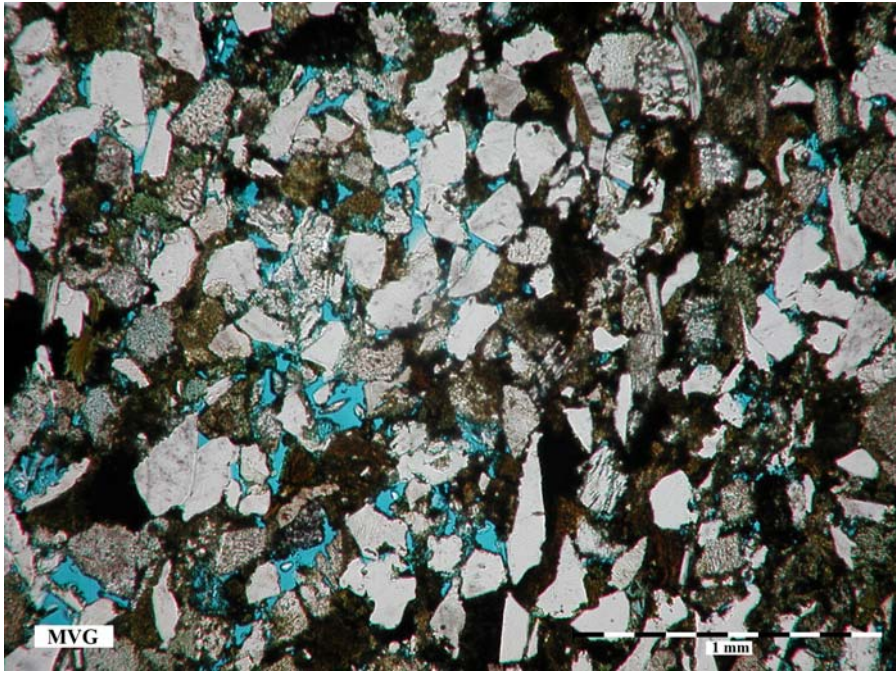
Megaskopischer Überblick		Probe MVT
Herkunft der Probe	Markvippach Abbruchmaterial aus Markvippach	
Abbauort	Markvippach	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und teilweise karbonatisch gebundener, rotbrauner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	rotbraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktu	feinsandig, feinporig	
Textur	schwach angedeutet durch ferritischen Substanzen und längliche Klasten	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach, Vippachedelhausen, Thalborn	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

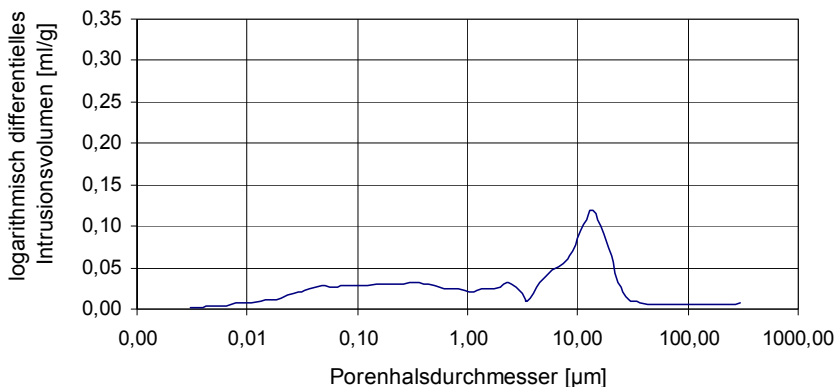


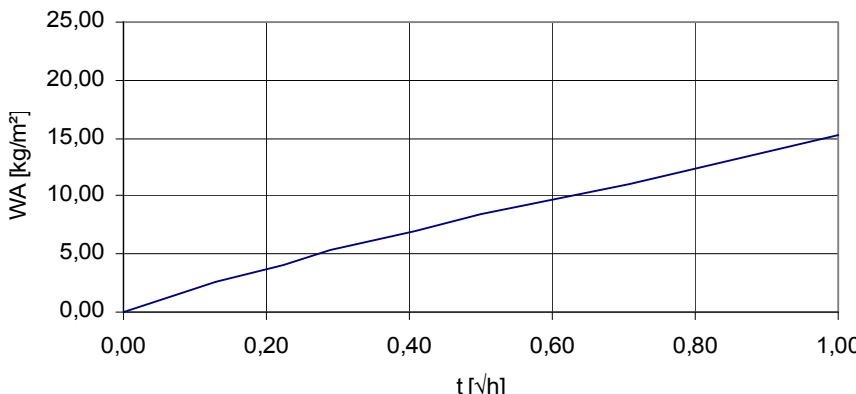
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe MVT
Herkunft der Probe	Markvippach	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: wenige Feldspäte, davon nur wenige gering serizitisiert	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig Glimmer, nur vereinzelt kleine Muskovitblättchen	
	Grünliche Minerale: keine	
	Sonstiges	
Bindemittel	<p>Fast durchgehend ferritische Bindemittel: viele Klasten ummantelnd, als breite Bänder und Fasern (um 0,5 , 0,2x0,38 bis 0,35x0,9 mm) zwischen mehreren Klasten und als große opake Körner (bis Quarzkorngröße), auch als Hüllen um Quarzkörner (0,006-0,04 mm breit); in kleineren Bereichen mit weniger ferritischer Substanz;</p> <p>karbonatisches Bindemittel zwischen Klasten und kleinen Zwickeln (kristallin-xenomorph), Anteil ca. 8%;</p> <p>Selten geringe sekundäre SiO₂-Anlagerung</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Ferritische Substanz z.T. wie Stützzement wirkend, karbonatische Substanz in größeren Teilbereichen eine enge Kornbindung erzeugend. Bindung der Klasten zu über 90 % der Korngrenzen indirekt über ferritische und karbonatische Substanzen</p>	
Sichtbarer Porenraum	0,02-0,12 mm, z.T. länglich 0,07x0,25 mm	
Struktur	Korngrößen: ((0,04-0,06)), (0,07-0,10), 0,11-0,25 (-0,32 mm)	
	Kornformen: sehr unregelmäßig, häufig splittig	
Textur (Schichtung)	Schwach angedeutet durch gestreckte ferritische Substanzen und längliche Klasten	
Sonstiges		









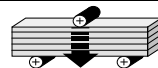

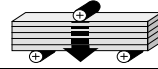



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MVT	
Herkunft der Probe		Markvippach		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,67		
Rohdichte	[g/cm³]	2,04		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,76		
Gesamtporosität	[V.-%]	23,60		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	19,73		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,49		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe MVT</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	7,32		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,56		
Sättigungswert	[-]	0,82		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		50,25	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		10,32	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,15		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe MVT</div> <div></div>				

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MVT
Herkunft der Probe		Markvippach	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,70
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		24,03
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		20,20
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		21,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,175
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,110

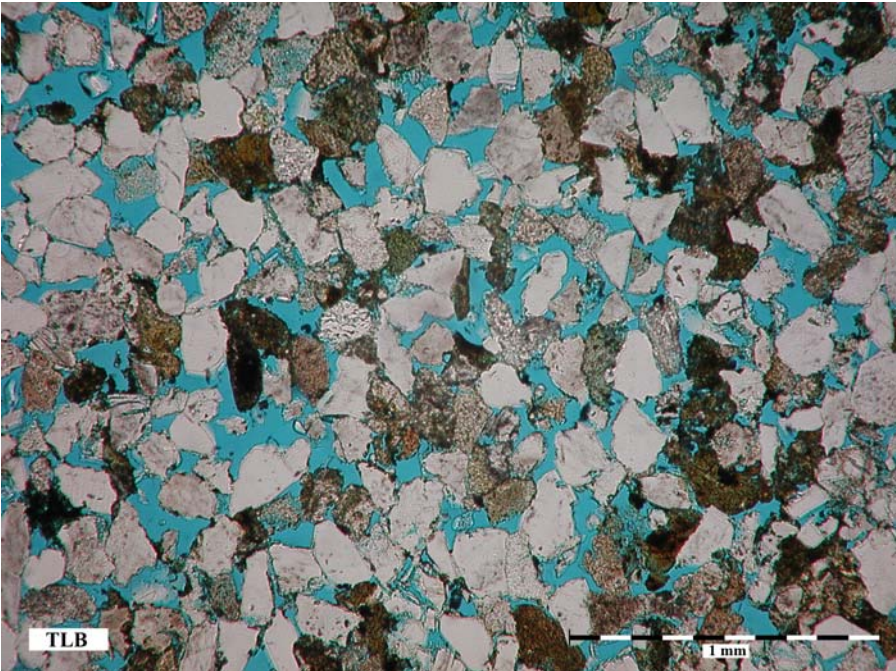
Megaskopischer Überblick		Probe MVG
Herkunft der Probe	Markvippach Abbruchmaterial aus Markvippach	
Abbauort	Markvippach	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, gelbgrüner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgelbgrün, olivgrün	
Detailfarben	schwarze Kohlelaminen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	sehr ausgeprägt, durch streifige Ferritsubstanz angedeutet	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gute Witterungsbeständigkeit. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach, Vippachedelhausen, Thalborn	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

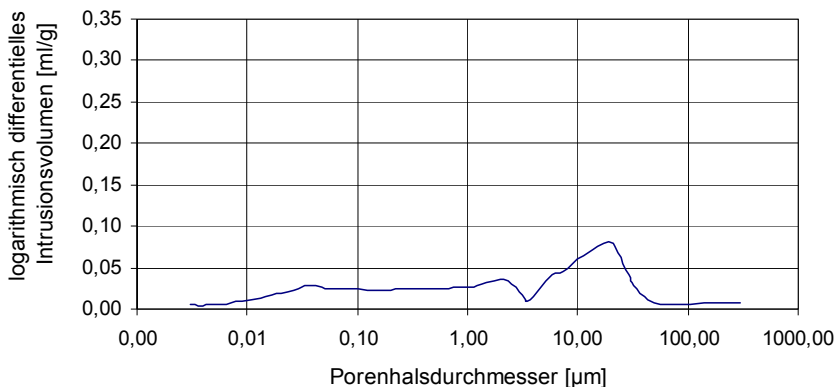


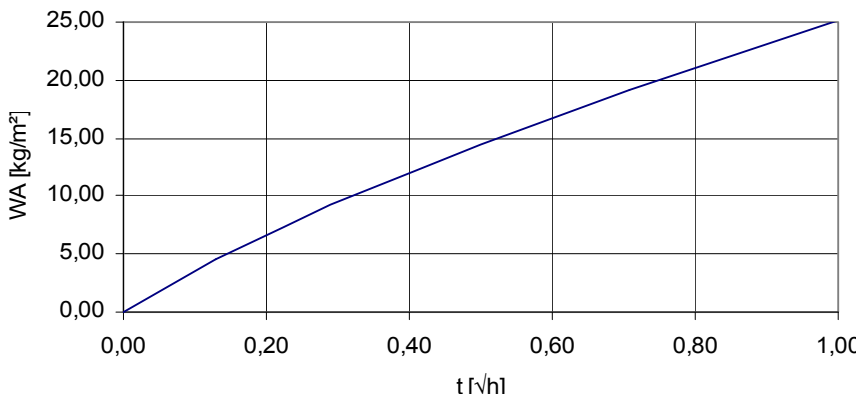
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe MVG
Herkunft der Probe	Markvippach	
Abbildung		
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig Muskovit (um 0,44 mm lang, max. 1,5 mm), alterierter Biotit: z.T. bräunlich und ferritisch pigmentiert, z.T. grünlich.	
	Grünliche Minerale: relativ viel vergrünter Biotit, grüne Flocken und längliche Aggregate (ferritisch durchsetzt), grüne runde feinschuppige Körner (eventuell Glaukonit)	
	Sonstiges: große, unregelmäßig geformte, tonig-schluffige Fasern, stark ferritisch, gewunden, aufgespalten, bis 2,3 mm breit und mehrere mm lang	
Bindemittel	<p>Lagig wechselnd: breite ferritische Streifen und Lagen bis zu Stützzement (im Bild rechts), zwischen Klasten sich verzweigend, mit grünlichen Komponenten verknüpft, daneben ferritarmer Lagen.</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anlagerung: häufig, aber nur sehr schmale Säume, selten zu kleinen Kristallflächen ergänzt</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>In ferritischen Lagen weitgehend dichte Packung, breite Zwischenräume und Zwickel füllend, größere unregelmäßige Flecken (z.T. größer als Quarzkörner), auch Klasten teilweise vollständig umhüllend.</p> <p>In ferritarmen Lagen: flache, tonig-feinglimmige Aggregate, durch SiO₂-Anlagerung keine längeren Kornkontakte, z.T. 3 bis 5 Körner mit jeweils 20-40% direkten Kontaktflächen, viele Körner isoliert liegend, viel offener Porenraum</p>	
Sichtbarer Porenraum	In bindemittelreichen Lagen gering und feinporös (0,03 – 0,05 mm), sonst reichlich zusammenhängender, verzweigter weiter Porenraum	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,06) 0,09-0,25 (-0,32 mm)	
	Kornformen: z.T. isometrisch, z.T. sehr unregelmäßig: vieleckig, spitz, auch relativ häufig prismatisch bis langprismatisch	
Textur (Schichtung)	Sehr ausgeprägt durch streifige Ferritsubstanz, lange Muskovite und alterierte Biotite, dazu geringfügiger Korngrößenwechsel	









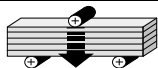
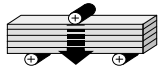
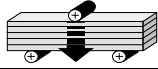



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MVG	
Herkunft der Probe		Markvippach		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,64		
Rohdichte	[g/cm³]	1,95		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74		
Gesamtporosität	[V.-%]	26,14		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	24,75		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,36		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe MVG</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,27		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,80		
Sättigungswert	[-]	0,83		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		45,01	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		12,84	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,21		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe MVG</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MVG
Herkunft der Probe		Markvippach	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		24,90
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		22,63
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		18,00
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		10,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,90
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,40
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5454
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3139
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8264
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,238
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,125

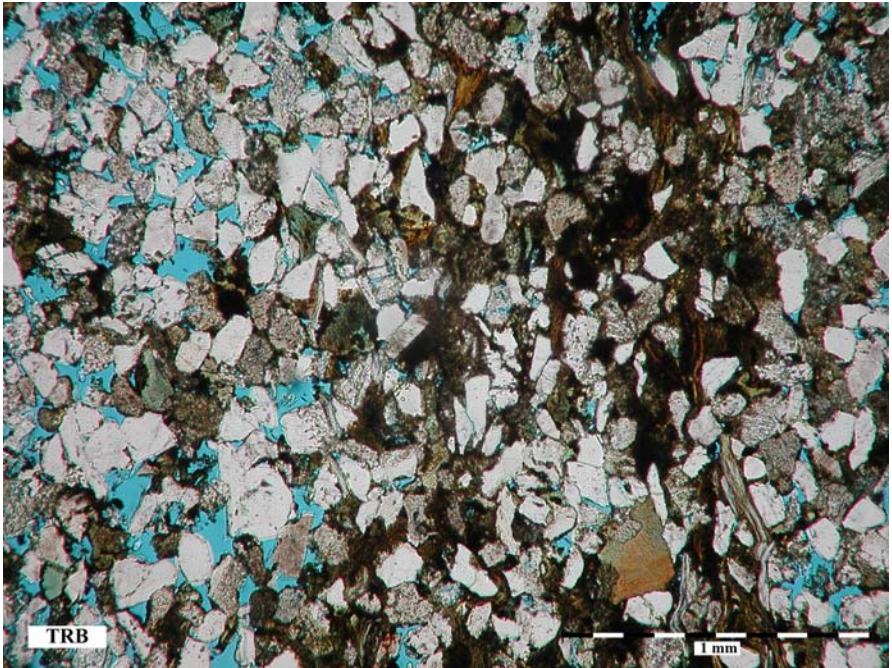
Megaskopischer Überblick		Probe TLB
Herkunft der Probe	Thalborn Abbruchmaterial aus Vippachedelhausen	
Abbauort	Thalborn	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	hellgrüner, olivgrüner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung		
Gesamtfarbe	hellgrün, gelbgrün	
Detailfarben		
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	angedeutet durch längliche Körner, Reihen von Opakmineralen	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Werksteine in den umliegenden Ortschaften: Dielsdorf, Markvippach, Vippachedelhausen, Thalborn	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

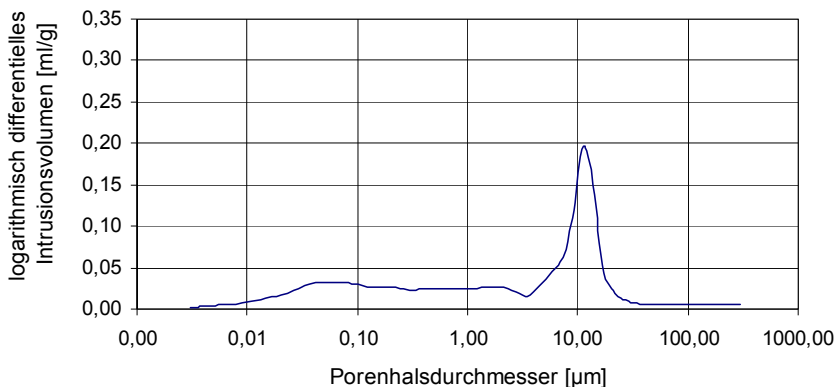


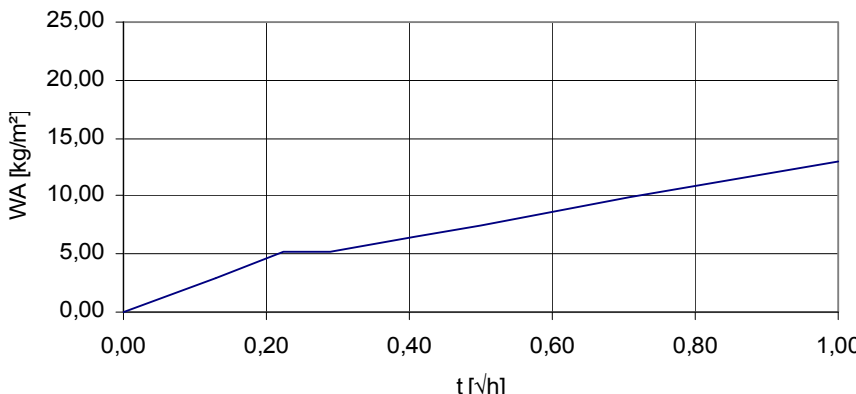
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe TLB
Herkunft der Probe	Thalborn	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz</p> <p>Feldspäte: relativ viele Feldspäte, meist Orthoklas, häufig mit serizitischen Neubildungen</p> <p>Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: wenige stark alterierte Biotite um 0,25 mm, max. 0,2x0,6 mm, selten kurze Muskovite</p> <p>Grünliche Minerale: fehlen</p> <p>Sonstiges: Opake Körner in wenigen schichtigen Reihen angeordnet</p>	
Bindemittel	Tonige Substanzen zwischen Klasten fehlen, vereinzelt eigenständige, kleine, helle tonige Aggregate, geringe SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Fleckenhaft, ca. 20 bis 30 Körner mit ca. 30-60 % des Kornumfangs in direktem Kontakt (dabei auch Feldspäte), größere Flächenanteile nur mit (10) 20-30 % als unmittelbare Kontaktfläche, Packung mäßig bis weit, z.T. aufgeweitet (isolierte Körner)	
Sichtbarer Porenraum	hohe Porosität, sehr unregelmäßig geformte Poren, > 50 % untereinander zusammenhängend, meist 0,06-0,16 mm, max. 0,12x0,32 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,09) 0,10-0,20 (-0,25 mm)	
	Kornformen: meist isometrisch, selten rundlich, relativ häufig lange und prismatische Körner	
Textur (Schichtung)	Gering angedeutet durch längliche Körner, Reihen von Opakmineralen	
Sonstiges	Tonige, schwach siltige Limonitkruste eingelagert (1,8 mm breit)	








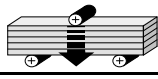

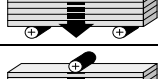
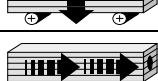


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TLB
Herkunft der Probe		Thalborn	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,61	
Rohdichte	[g/cm³]	1,88	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72	
Gesamtporosität	[V.-%]	27,97	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,76	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,65	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe TLB</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	11,42	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,52	
Sättigungswert	[-]	0,84	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		42,22
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		22,36
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,35	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe TLB</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TLB
Herkunft der Probe		Thalborn	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,90
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		20,25
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		18,18
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		17,50
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		14,92
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		13,08
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		7,70
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,50
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,80
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3131
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2278
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4464
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,433
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,258

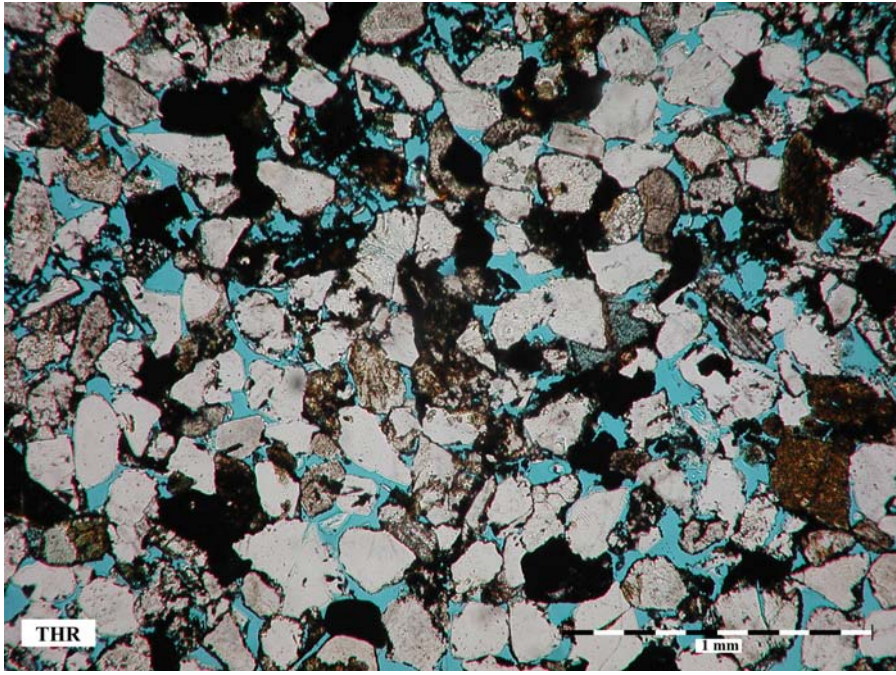
Megaskopischer Überblick		Probe TRB
Herkunft der Probe	Tröchtelborn Material aus dem Steinbruch (Bruchsohle im NO-Bereich)	
Abbauort	Tröchtelborn	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-glimmig und tonig-ferritisch gebundener, olivgrüner, feinkörniger, glimmerreicher Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	olivgrün, hellgrüngrau	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Laminen und Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	stark ausgeprägte Schichtung	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk (immer verputzt) von Gebäuden in Tröchtelborn und Molschleben	
Literaturhinweise	BAUER (1889), GRÄBE (1978), WEISE (2002)	

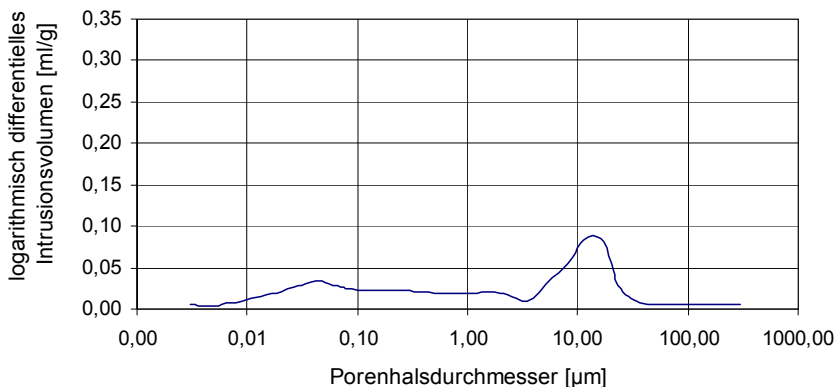


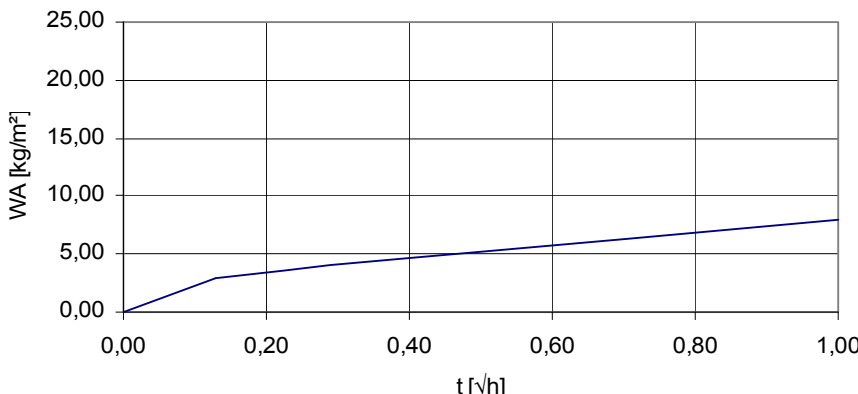
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe TRB
Herkunft der Probe	Tröchtelborn	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: in bindemittelreichen Lagen lange Muskovite und Biotite bis 0,9 mm (rechte Bildhälfte), sonst kleine und kurzschuppige Muskovite (0,06-0,10 mm), Glimmer z.T. wellig verbogen, stark ferritisch durchsetzt, größere Fetzen (0,07x0,38 mm bis 0,12x0,32 mm) alterierter Biotit</p> <p>Grünliche Minerale: reichlich feinstschuppig (chloritartig) und in länglichen Aggregaten mit fasrig-streifiger Innenstruktur bis 0,15x0,48 mm</p>	
Bindemittel	<p>In Streifen und Lagen angereichert: Mischung aus tonig-ferritischer und grünlicher (auch ferritisch pigmentierter) Substanz mit Kohlepartikeln und großen Glimmern (rechte Bildhälfte).</p> <p>Sonst: tonige Zwickelfülle und kleine ferritische Flocken (linkes Drittel im Bild); Sekundäre SiO₂-Anlagerungen häufig, aber nur dünn als Teilsäume</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>In bindemittelreichen Streifen enge Kornpackung. Bindung meist über tonige, ferritische und glimmerige Substanzen (hier bis zu 30 %), in dünnen, langen Flasern die Klasten umgebend. Sonst: relativ stark feinporös, wegen des hohen Anteils an kleinen Klasten noch relativ mittlere Packung: direkte Kornkontakte z.T. über 30-50 % der Korngrenzlinie, bei höherem Porenanteil nur über 20 %. SiO₂-Anlagerungen nur als Teilsäume</p>	
Sichtbarer Porenraum	Poren nur in bindemittelarmen Bereichen (0,02-0,04) 0,05-0,09 (-0,12 mm)	
Struktur	Korngrößen: 0,06-0,12 (-0,20 mm)	
	Kornformen: meist isometrisch, dabei häufig annähernd viereckig, geringer Anteil kurzprismatisch	
Textur (Schichtung)	Stark schichtig durch mehrfache streifig-lagige Bindemittelanreicherungen, z.T. auch Anreicherungen von Glimmern und länglichen Körnern, einmal eine linsenartige, fast nur aus Quarz und Feldspat bestehende Partie	
Sonstiges	In bindemittelreichen Streifen lang gestreckte Nester mit kohligen Partikeln, auch größere Kohlebrocken.	








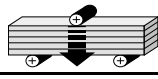

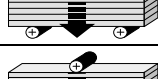
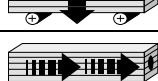
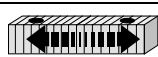

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TRB
Herkunft der Probe		Tröchtelborn	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,66	
Rohdichte	[g/cm³]	1,98	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74	
Gesamtporosität	[V.-%]	25,63	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	26,08	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,06	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe TRB</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,49	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,59	
Sättigungswert	[-]	0,83	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		38,08
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		9,76
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,26	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe TRB</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe TRB
Herkunft der Probe		Tröchtelborn	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,20
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		21,40
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		17,40
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,60
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,10
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,65
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5542
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3038
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9562
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,598
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,302

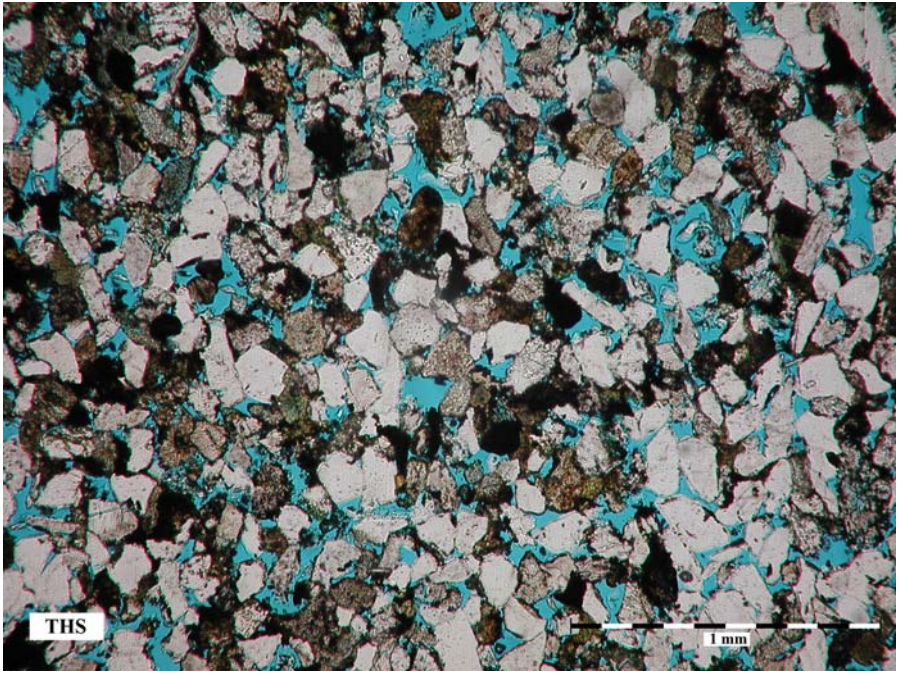
Megaskopischer Überblick		Probe THR
Herkunft der Probe	Gotha Abbruchmaterial aus dem Gothaer Rathaus	
Abbauort	Gotha	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und teilweise karbonatisch gebundener, brauner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellrotbraun, graubraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung nicht erkennbar	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Kellergewölbe fast aller Gebäude am Gothaer Hauptmarkt Rathaus, Waidspeicher Gretengasse, Apotheke Marktstraße 13 (17. Jh.), Margaretenkirche, Schloss Friedenstein-Arkadenbögen (17. Jh.)	
Literaturhinweise	BAUER (1889), GRÄBE (1978), WEISE (2002)	

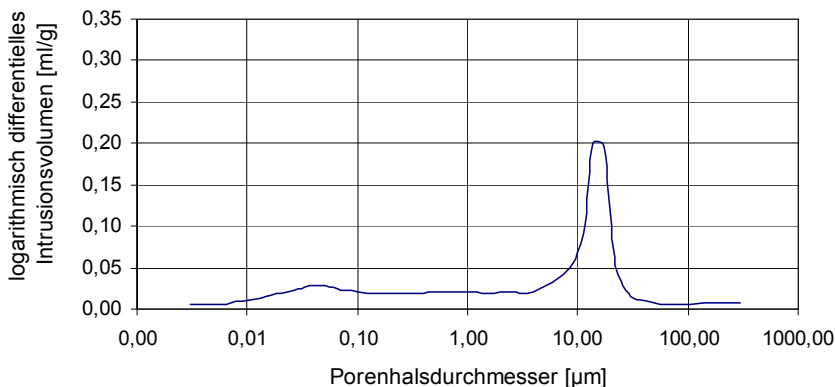


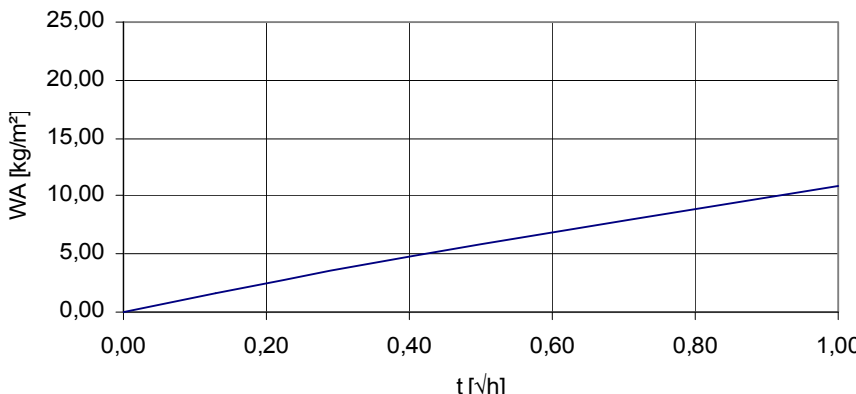
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe THR
Herkunft der Probe	Gotha	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: Orthoklas in allen Stadien mit serizitischen Neubildungen, Plagioklas meist frisch und verzwillingt	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenige kleine, kurze Muskovitblättchen	
	Grünliche Minerale	
Bindemittel	<p>Karbonat: ca. 8-10%, in kleineren Bereichen stark gehäuft, aus mehreren xenomorphen Kristallen bestehend, sonst kleine Einzelkristalle in Zwickeln und zwischen Klasten verteilt. Reichlich opake Körner und braune Flecken (rechter Rand, unterer Bildbereich), z.T. offene Begrenzung, viele Klasten mit dünnem, braunen Saum.</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anlagerung, zu offenen Porenräumen hin relativ häufig</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>An Stellen mit reichlich karbonatischem Bindemittel bzw. Stützzement dichte Packung; in Bereichen mit viel ferritischen Substanzen (siehe Bild) mäßige bis hohe Verdichtung, aber mit einer mittleren Porosität.</p> <p>Außerhalb karbonatischer Bindung: ca. 70% der Klasten mit dünner ferritischer Hülle (0,006-0,01 mm breit) an ca. 50-100% des Kornumfangs. Quarzkornbindung fast nur indirekt über Ferrit und Karbonat</p>	
Sichtbarer Porenraum	(0,03) 0,05-0,15 mm	
Struktur	<p>Korngrößen: Quarz (0,06-0,1) 0,1-0,27 (-0,32mm); Karbonatkristalle: größere, zusammenhängende: bis 0,12 mm, Einzelkristalle 0,04 – 0,06 mm; Opake Körner: bis 0,20 mm, ferritische Fläsern: bis 0,50 mm</p>	
	Kornformen: ca. 70% isometrisch, sonst unregelmäßig und spießig	
Textur (Schichtung)	Schichtung nicht erkennbar	








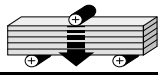

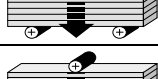
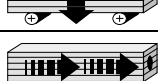


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe THR
Herkunft der Probe		Gotha	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,69	
Rohdichte	[g/cm³]	2,01	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,75	
Gesamtporosität	[V.-%]	25,27	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	16,87	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,35	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe THR</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,51	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,69	
Sättigungswert	[-]	0,81	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		55,32
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h ^{1/2}]		4,43
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,91	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe THR</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe THR
Herkunft der Probe		Gotha	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		31,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		25,48
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		23,00
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		29,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,40
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		3,80
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		14997
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		11426
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17510
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,225
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,138

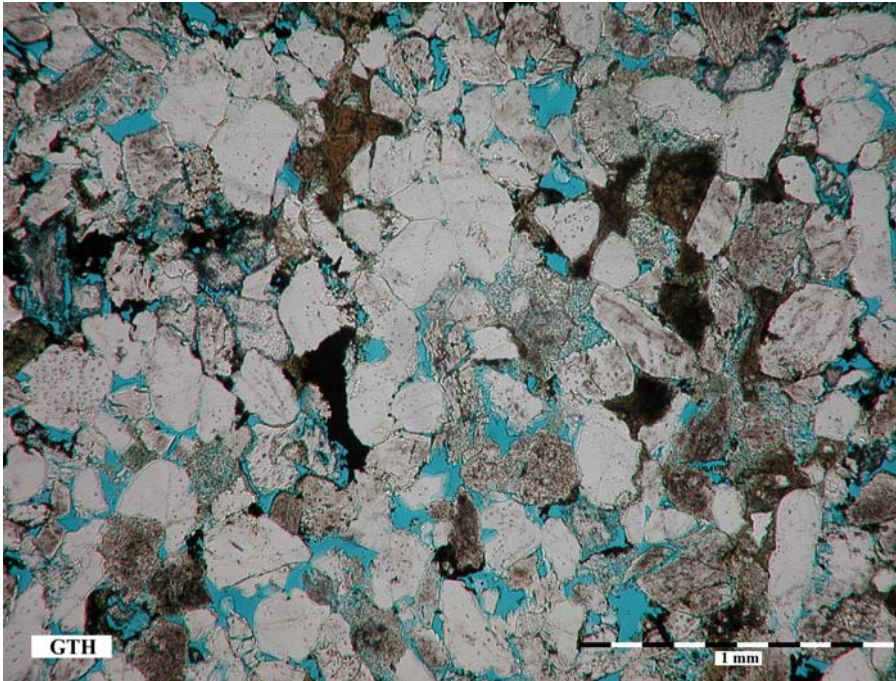
Megaskopischer Überblick		Probe THS
Herkunft der Probe	Gotha Abbruchmaterial aus dem Haus „Zur goldenen Schelle“ in Gotha	
Abbauort	Gotha	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, rotbrauner, feinkörniger, glimmerreicher Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	rotbraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	sehr gering angedeutet	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Kellergewölbe fast aller Gebäude am Gothaer Hauptmarkt Rathaus, Waidspeicher Gretengasse, Apotheke Marktstraße 13 (17. Jh.), Margaretenkirche, Schloss Friedenstein-Arkadenbögen (17. Jh.)	
Literaturhinweise	BAUER (1889), GRÄBE (1978), WEISE (2002)	

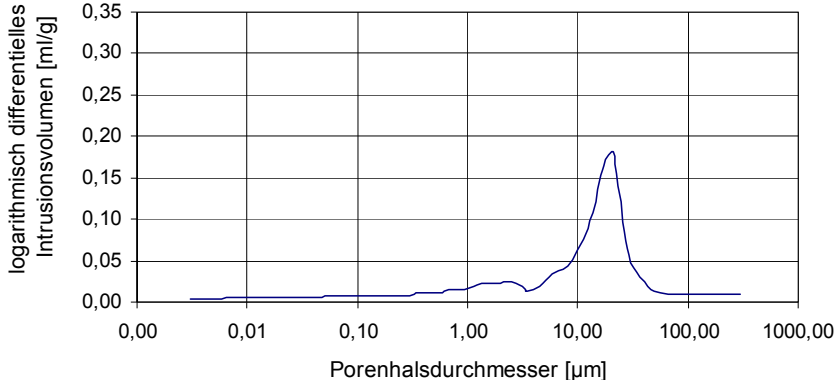


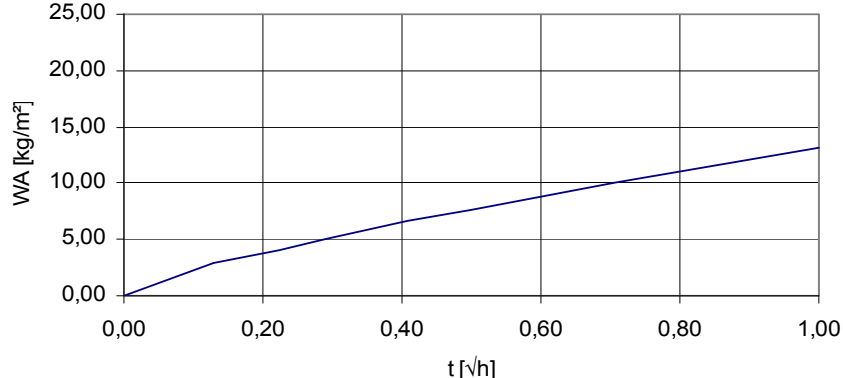
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe THS
Herkunft der Probe	Gotha	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: häufig kurzblättriger Muskovit (um 0,06-0,07 mm), selten mittlere Muskovite (bis 0,3 max. 0,5 mm), sehr selten gebleichter Biotit	
	Grünliche Minerale: mittelgrüne Aggregate (mit sehr geringer Doppelbrechung, wahrscheinlich Chlorit)	
Bindemittel	<p>Wenig helle tonige Aggregate, mittlere Beteiligung von ferritischer Substanz: als Bindemasse zwischen mehreren Klasten, auch schichtig gestreckt, dazu opake Körner.</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anlagerung gering, nur teilweise längere Kornkontakte bildend, keine sekundären Quarzkristallflächen</p>	
Diagenese (Kornbindung)	Mäßige Kornbindung, durchgehend feine Porosität, direkte Quarzkornbindung nur an wenigen benachbarten Körnern (oftmals auch nur an zwei Körnern), sonst durch tonige und ferritische Substanz getrennt, Quarzkorn Grenzen feinst braun, tonig ferritisch, meist unvollständig pigmentiert	
Sichtbarer Porenraum	0,03-0,10 (-0,2 mm)	
Struktur	Korngrößen: Quarz: (0,04-0,07) 0,09-0,16 (- 0,20) ((- 0,25 mm)) opake Körner: 0,12-0,25 max. 0,25x0,38 mm	
	Kornformen: überwiegend unregelmäßig: oval, vieleckig, spitz und langprismatisch	
Textur (Schichtung)	Gering angedeutet durch einzelne Muskovite und längliche ferritische Aggregate	
Sonstiges		








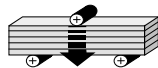
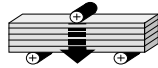

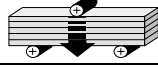



Gesteinstechnische Kennwerte			Probe THS	
Herkunft der Probe		Gotha		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,70		
Rohdichte	[g/cm³]	1,99		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74		
Gesamtporosität	[V.-%]	26,35		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,70		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,05		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe THS</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,43		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,74		
Sättigungswert	[-]	0,82		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		40,13	
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		11,04	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,90		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe THS</p> 				

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe THS
Herkunft der Probe		Gotha	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,57
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		22,90
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		16,38
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,50
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,90
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6585
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2252
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8902
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,180
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,165


Megaskopischer Überblick		Probe GTH
Herkunft der Probe	Gotha Abbruchmaterial aus der Jacobstraße in Gotha	
Abbauort	Gotha	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, graugelber Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	graugelb, graubraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung gut erkennbar durch Korngrößen- und Porositätswechsel	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk und Kellergewölbe fast aller Gebäude am Gothaer Hauptmarkt Rathaus, Waidspeicher Gretengasse, Apotheke Marktstraße 13 (17. Jh.), Margaretenkirche, Schloss Friedenstein-Arkadenbögen (17. Jh.)	
Literaturhinweise	BAUER (1889), GRÄBE (1978), WEISE (2002)	

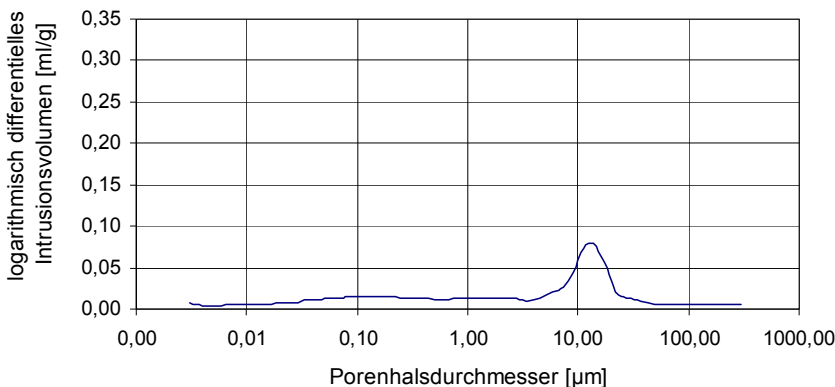


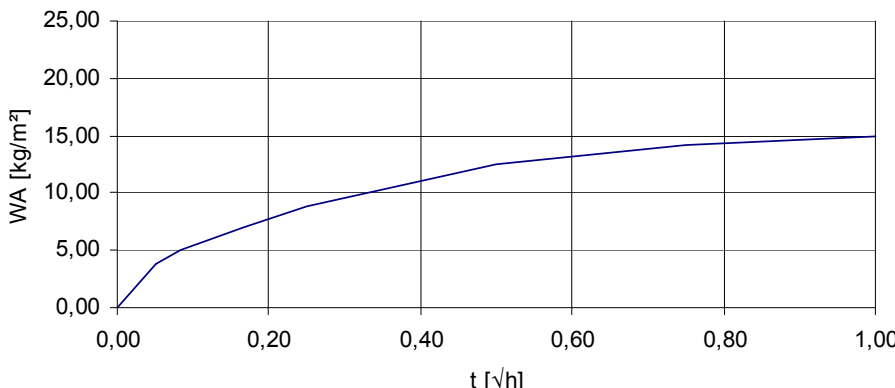
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe GTH
Herkunft der Probe	Gotha	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: viele bräunlich feinst durchstäubte Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr selten größere Muskovite bis 0,55 mm und Biotite (alteriert, gebleicht, 0,09x0,30 bis 0,20x0,63 mm), etwas häufiger kleinste Glimmerblättchen (bis 0,25 mm)	
	Sonstiges: schichtig angeordnet braungraue Tonsteinbröckchen	
Bindemittel	Gering beteiligt: toniges Bindemittel in Zwickeln und zwischen zwei Klasten, punktuell limonitisch pigmentierte Korngrenzen (ca. 10-20% des Kornumfangs); -Karbonatische Substanz: kleiner als 1%, schichtweise selten, Karbonat-kristalle, z.T. sehr kleine Einzelkristalle; -mäßig sekundäre SiO ₂ -Anlagerung: meist als sehr schmaler Saum, nur z.T. kleine Kristallflächen ergänzt; -Einzelne braune, ferritische Porenauskleidungen	
Diagenese (Kornbindung)	Lagenweise relativ enge Kornbindung der Klasten auch über toniges Bindemittel, sonst stärker aufgeweitetes Korngefüge mit einem zusammenhängenden Gerüst aus Quarz und Feldspat: zum geringen Teil über ca. 10-30%, meist über 40-60% der Korngrenzlinien verbunden, womit ein festerer Gesamteindruck unter den Proben mit aufgeweitetem Porenraum vermittelt wird	
Sichtbarer Porenraum	Mittlere Porosität: 0,02-0,10 (-0,12 mm), z.T. verzweigte Poren	
Struktur	Korngrößen: an Klasten: in dünnen Lagen (0,05) 0,1-0,2 mm; In dickeren Lagen meist 0,12-0,30 (-0,35 mm), tonige Aggregate: um 0,15 mm; Karbonatkristalle: 0,07-0,12, max. 0,20 mm	
	Kornformen: isometrisch und splittig	
Textur (Schichtung)	Schichtiger Korngrößenwechsel, wechselnd mittlere und höhere Porosität	









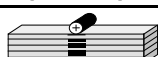





Gesteinstechnische Kennwerte			Probe GTH
Herkunft der Probe		Gotha	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,61	
Rohdichte	[g/cm³]	1,99	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,76	
Gesamtporosität	[V.-%]	23,77	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	24,40	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	2,71	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe GTH</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,27	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,22	
Sättigungswert	[-]	0,74	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		54,22
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		10,67
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,43	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe GTH</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe GTH
Herkunft der Probe		Gotha	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		37,21
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		30,91
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		28,20
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		29,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,90
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,70
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6374
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3678
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8251
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,292
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,198

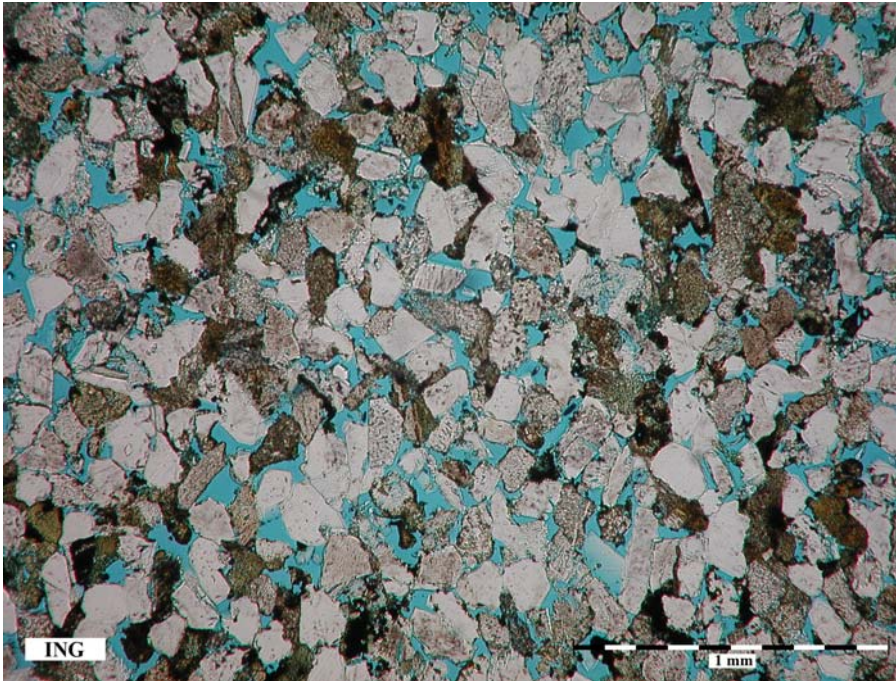
Megaskopischer Überblick		Probe ING/f
Herkunft der Probe	Ingersleben Material aus dem Steinbruch (unterer Horizont)	
Abbauort	Ingersleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch-tonig und teilweise karbonatisch gebundener, gelbbrauner, auch grünbrauner oder grüngelber Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung		
Gesamtfarbe	hellgelbbraun	
Detailfarben	rostbraune Fleckenbildungen, schwarze Kohlebröckchen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung gering angedeutet, durch ferritische Substanzen	
Verwitterungsverhalten	relativ gut, auch in durchfeuchteten Sockelbereichen Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Ingersleben Kirche (14. Jh.), Rittergut (16./17. Jh.), Brücke über die Apfelstädt, Mauerwerk mehrerer Gebäude	
Literaturhinweise	SCHMID & ZIMMERMANN (1889), GRÄBE (1978), PATZELT (1996), MÄDLER (1998), WEISE (2002), KATZSCHMANN, ET AL. (2006)	

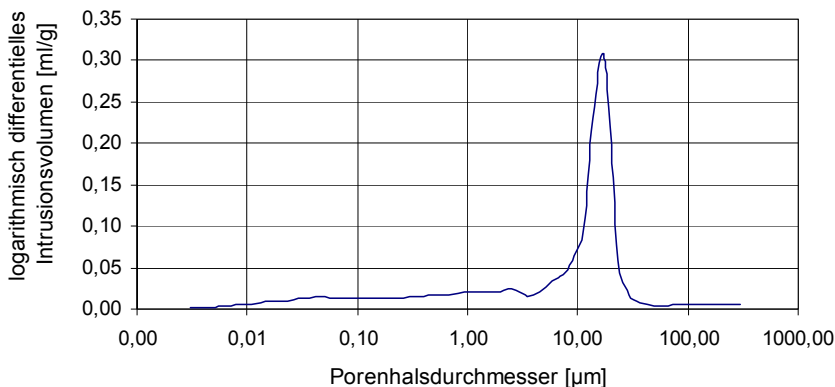


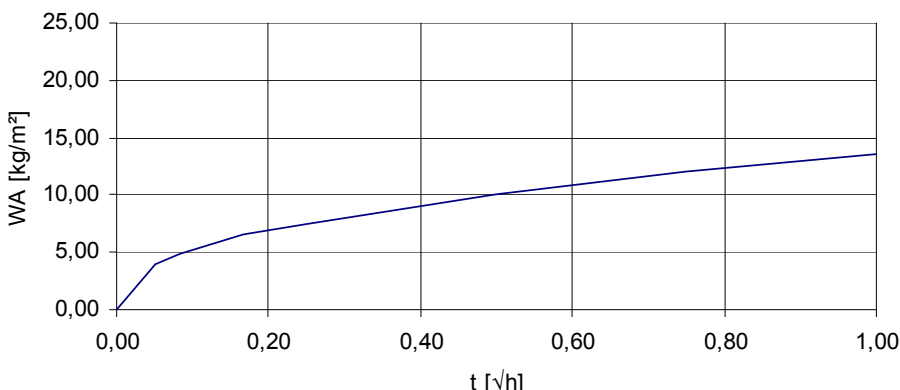
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe ING/f
Herkunft der Probe	Ingersleben	
Abbildung (Porenraum nicht blau eingefärbt)		
Komponenten	Quarz, Gesteinsbruchstücke	
	Feldspäte: mehrfach feinstdurchstäubte, prismatische Orthoklase	
	Glimmer: selten Muskovite, sehr selten kurze, alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale	
Bindemittel	Wenig helles toniges Bindemittel, fleckenhaft karbonatisches Bindemittel, mittelgroße xenomorphe Kristalle bis 0,25 mm, z.T. isolierte mikrokristalline Bestandteile, in Flecken bis 20% Anteil im Dünnschliff insgesamt 5-6%, meist mit ferritischer Substanz verbunden (ehem. Fe-reiches Karbonat), oft skelettartig oder z.T. Spaltrisse füllend. Einzelne große ferritische Flocken bis 0,75 mm. Hellbraune gering ferritische tonige Substanzen. Sekundäre SiO ₂ -Anlagerung gering	
Diagenese (Kornbindung)	Enge Bindung durch teilweise karbonatische Substanz in Verbindung mit reichlich ferritischer Substanz (Herkunft wahrscheinlich durch Lösungsvorgänge aus Fe-haltigem Karbonat), davon ausgehend tonig ferritische Substanz netzartig zwischen Klasten verzweigend, so Teilhüllen und Hüllen erzeugend, hellbraune tonige Substanz als Porenfülle. Kleine isolierte Bereiche ohne ferritische Substanzen mit relativ enger Quarzkornbindung über 40-50% der Korngrenzlinien.	
Sichtbarer Porenraum	Sehr gering: 0,04-0,08 mm	
Struktur	Korngrößen: ((0,04-0,05)) (0,6-0,10) 0,11-0,20 (-0,25 mm)	
	Kornformen: sehr unregelmäßig: drei- bis vieleckig, z.T. splittrig, kaum isometrisch, ca. 8% langprismatisch	
Textur (Schichtung)	Gering angedeutet durch wenige ferritische Aggregate und lange Muskovite (z.T. gestaucht)	
Sonstiges	Selten kohlige Brocken, in viele kleine Bröckchen zerfallend	








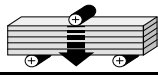

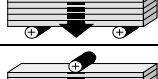
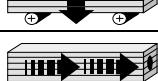


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ING/f
Herkunft der Probe		Ingersleben	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,71	
Rohdichte	[g/cm³]	2,04	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,75	
Gesamtporosität	[V.-%]	24,69	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	17,22	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,54	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe ING/f</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,62	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,10	
Sättigungswert	[-]	0,85	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		55,00
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		6,29
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,65	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe ING/f</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ING/f
Herkunft der Probe		Ingersleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		47,80
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		42,85
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		40,20
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		37,80
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,295
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,201

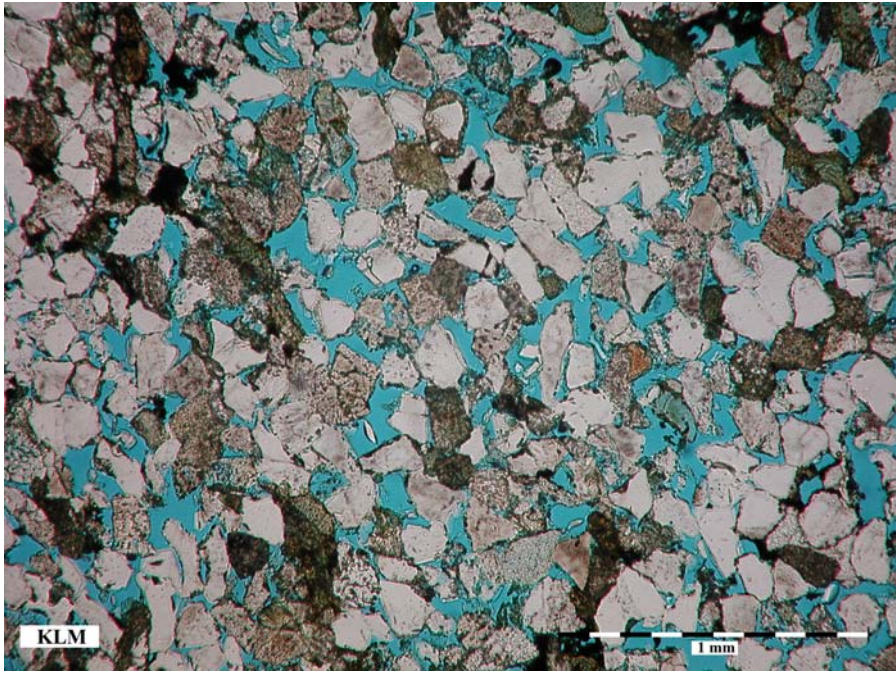
Megaskopischer Überblick		Probe ING/I
Herkunft der Probe	Ingersleben Material aus dem Steinbruch (oberer Horizont)	
Abbauort	Ingersleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener gelbbrauner oder grüngelber Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgelbbraun	
Detailfarben	rostbraune und schwarze Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung gering angedeutet, durch ferritische Substanzen und Glimmerlagen	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Ingersleben Kirche (14. Jh.), Rittergut (16./17. Jh.), Brücke über die Apfelstädt, Mauerwerk mehrerer Gebäude	
Literaturhinweise	SCHMID & ZIMMERMANN (1889), GRÄBE (1978), PATZELT (1996), MÄDLER (1998), WEISE (2002), KATZSCHMANN, ET AL. (2006)	

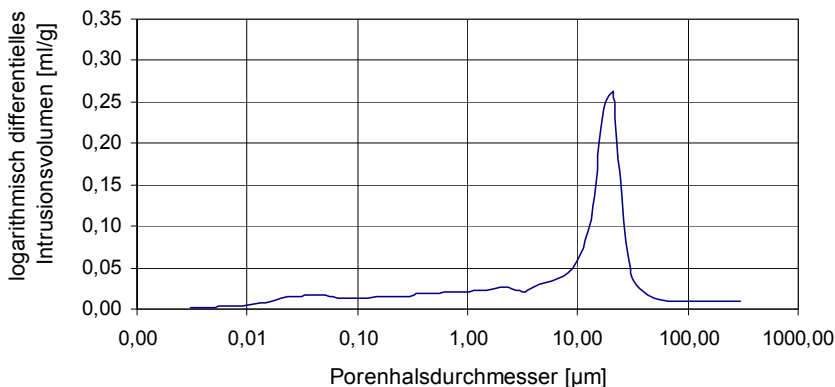


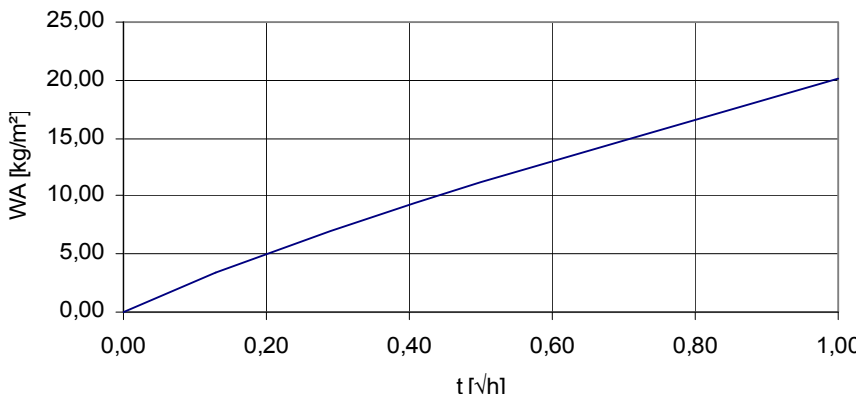
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe ING/I
Herkunft der Probe	Ingersleben	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Feldspäte</p> <p>Gesteinsbruchstücke: reichlich helle bis graue Tonsteinbröckchen und stark serizitisierte Gesteinsbruchstücke (im Bild z.T. hellgraue Komponenten)</p> <p>Glimmer: reichlich Muskovit, kurze Blättchen (um 0,25 mm), selten lange (bis 0,80 mm) Biotite, sehr viele gering, z.T. auch stark alterierte Biotite (0,09x0,38 bis 0,16x0,50 mm)</p> <p>Grünliche Minerale: wenige sehr kleine, dunkelgrüne Chloritblättchen, häufig vergrünte Biotite</p>	
Bindemittel	Porenfüllungen mit tonigen, tonig-ferritischen und serizitischen Substanzen, vereinzelt braune tonig-ferritische Fasern und Flecken eingestreut. Geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerung in bindemittelreichen Partien, sonst mäßig bis stärkere Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	In feinporösem Gefüge relativ enge Kornbindung meist über tonige und serizitische Substanzen, nur z.T. über direkte Quarzkornbindung (Säume, selten ergänzte Kristallflächen), in bindemittelarmen Partien direkte Kornkontakte meist 30-60%, selten über 20-30% der Korngrenzlinien, dabei häufig direkte Quarzkornbindung	
Sichtbarer Porenraum	In bindemittelreichen Lagen: 0,02-0,05 mm, sonst (0,05) 0,10-0,12 (-0,20 mm)	
Struktur	<p>Korngrößen: Quarz (0,04) 0,06-0,20 (- 0,23 mm), Tonbröckchen um 0,10 – 0,15 mm</p>	
	Kornformen: unregelmäßig vieleckig, insgesamt meist isometrisch	
Textur (Schichtung)	Geringfügig angedeutet, wenige deutliche Lagen mit reichlich Glimmer und länglichen tonig-ferritischen Fasern	
Sonstiges	Eine schmale, bräunlichgraue Ton-Schlufflinse, in deren Umgebung reichlich kleine kohlige Bröckchen	








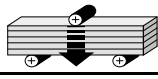

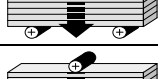
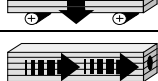


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ING/I
Herkunft der Probe		Ingersleben	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,73	
Rohdichte	[g/cm³]	1,93	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,71	
Gesamtporosität	[V.-%]	29,30	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,95	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,61	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe ING/I</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,20	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,70	
Sättigungswert	[-]	0,80	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		38,26
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		16,05
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,93	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe ING/I</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ING/I
Herkunft der Probe		Ingersleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,60
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		25,45
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		18,32
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		23,70
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,00
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6270
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,378
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,197

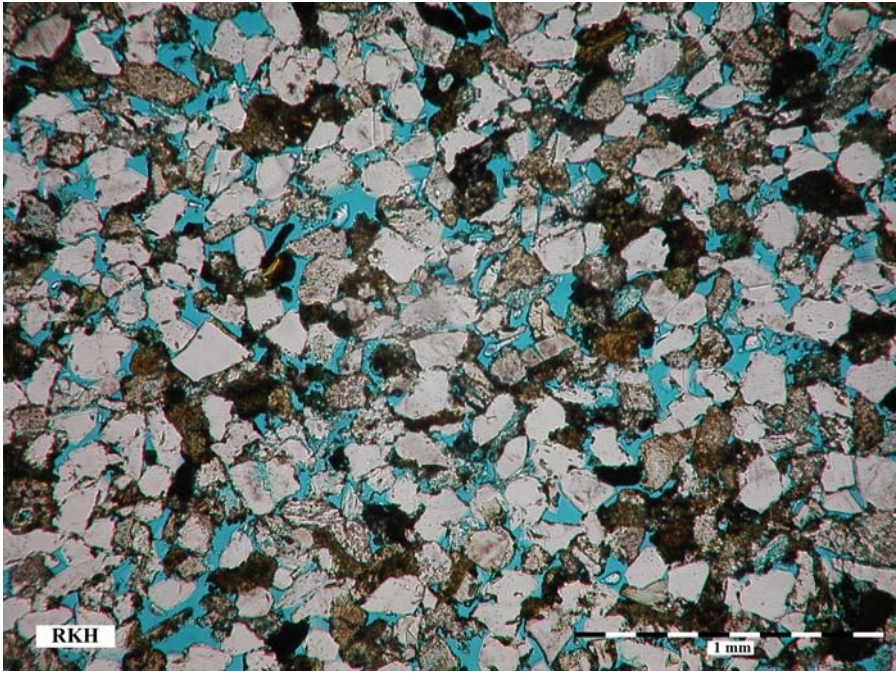
Megaskopischer Überblick		Probe KLM
Herkunft der Probe	Kornhochheim Material aus dem anstehenden Fels bei „Klemms Mühle“	
Abbauort	Kornhochheim	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener hellgrüner, graugrüner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	graugrün	
Detailfarben	schwarze Fleckenbildungen und Schlieren	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung deutlich ausgeprägt, durch Tonlinsen und Schlufffasern	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Ingersleben Kirche (14. Jh.), Rittergut (16./17. Jh.), Brücke über die Apfelstädt, Mauerwerk mehrerer Gebäude	
Literaturhinweise	SCHMID & ZIMMERMANN (1889), GRÄBE (1978), PATZELT (1996), MÄDLER (1998), WEISE (2002), KATZSCHMANN, ET AL. (2006)	

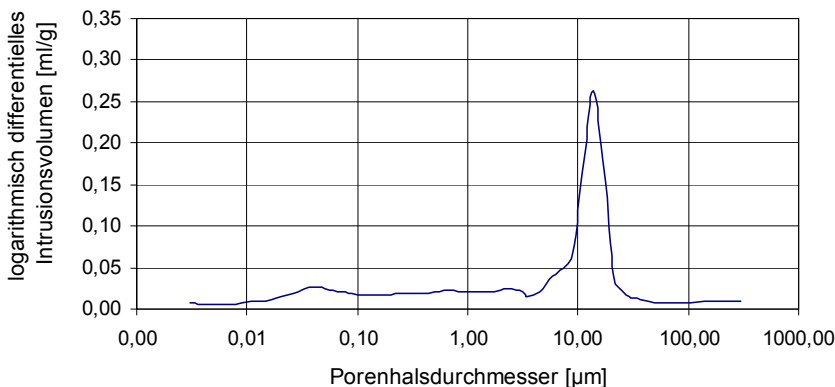


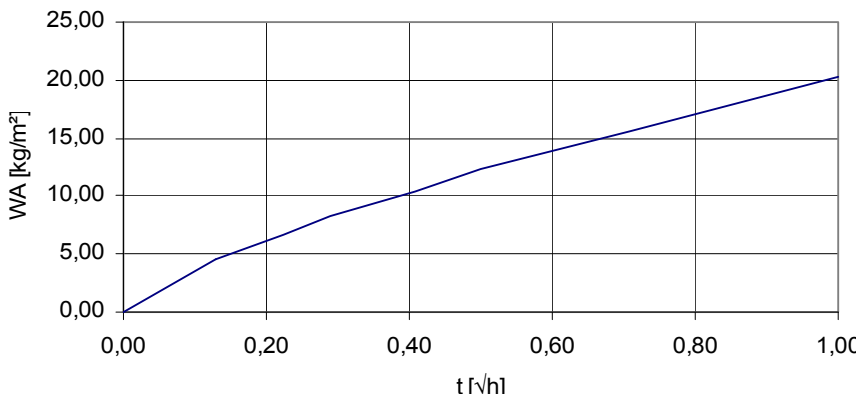
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe KLM
Herkunft der Probe	Kornhochheim	
Abbildung		
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr viele kleine, stark alterierte Glimmer	
	Grünliche Minerale: größere grüne Aggregate und runde Körner; stark alterierte Glimmer, z.T. vergrünt, z.T. chloritartig	
	Sonstiges: hellgraue, grau- und braungrüne tonige Bröckchen, eingroßer braune (ferritisch imprägnierter) Schluffbrocken (0,6-1 mm breit, 8,4 mm lang) mit kleinen Quarzkörnern und Glimmerblättchen	
Bindemittel	reichlich grünliche und bräunliche, tonig-schluffige Substanzen, fleckenhafte Bereiche karbonatisch gebunden (kristallin), ca.1-2% Anteil, mäßig sekundäre SiO ₂ -Anlagerung: sehr viele schmale Säume an über 50% der Korngrenzlinie	
Diagenese (Kornbindung)	Karbonatisch gebundene Flecken fast ohne Poren (enge Bindung von ca. 30-60 Klasten). In tonig-schluffigen Lagen indirekte Kornbindung: schlierig-dünnpfasrig die Klasten umgebend, in bindemittelarmen Bereichen (siehe Bild) durch hohe Porosität direkte Kornbindung nur punktförmig bis 20% der Korngrenzlinie, selten mehr, z.T. isolierte Klasten.	
Sichtbarer Porenraum	Außerhalb der karbonatischen Bindung hohe und grobe, sich verzweigende Porosität (geweitetes Gefüge), Durchmesser 0,08-0,20 mm	
Struktur	Korngrößen: Quarz: (0,05) 0,07-0,22 mm; Karbonatkristalle: 0,06x0,25 bis 0,12x0,25 mm, tonige Bröckchen: um 0,2 mm und 0,12x0,30 mm	
	Kornformen: meist isometrisch, dabei vieleckig und z.T. spitz endend, gering kurzprismatisch	
Textur (Schichtung)	Schichtung durch mehrere Ton-Schlufffasern nachgezeichnet	
Sonstiges		















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KLM
Herkunft der Probe		Kornhochheim	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	1,94	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74	
Gesamtporosität	[V.-%]	26,24	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	27,81	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,13	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe KLM</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,56	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,94	
Sättigungswert	[-]	0,82	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		40,26
Kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		17,52
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,72	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe KLM</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KLM
Herkunft der Probe		Kornhochheim	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,48
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		23,92
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		23,86
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		20,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,40
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,20
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4871
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3387
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6040
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,421
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,254

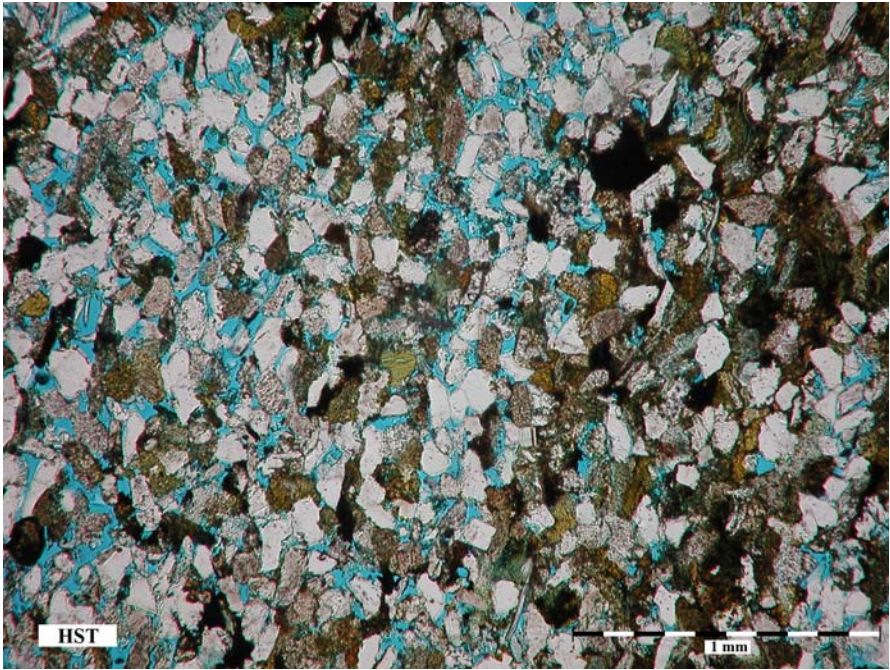
Megaskopischer Überblick		Probe RKH
Herkunft der Probe	Rockhausen Material aus der Böschung der Bundesautobahn A4	
Abbauort	Rockhausen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener gelbgrüner Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbgrün	
Detailfarben	einzelne schwarze Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung undeutlich	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Abschalen	
Verwendungsbeispiele	Kirche (17. Jh.) in Rockhausen	
Literaturhinweise	SCHMID (1873)	

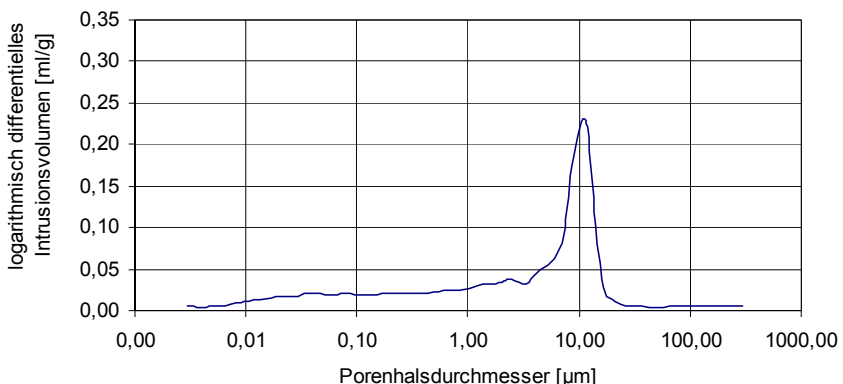


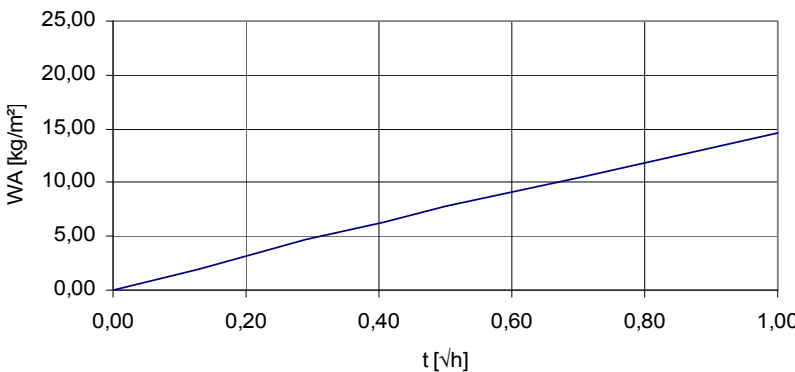
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe RKH
Herkunft der Probe	Rockhausen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr wenige kurze Muskovite, stark alterierte Glimmer in sehr kleinen Aggregaten, größere alterierte Biotite in stark ferritisch durchsetzten Flasern	
	Grünliche Minerale	
Bindemittel	Toniges, schwach bis stark ferritisch durchsetztes Bindemittel, graue tonige Aggregate und braune Flocken und Körner. Die meisten Quarze mit sekundärer SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Mäßige bis gute indirekte Kornbindung und viele Porenfüllungen durch tonige und ferritische Substanzen, durch SiO ₂ -Anlagerung häufig kleine Kristallflächen, auch Pyramidenflächen und längere direkte Quarzkontakte, z.T. über 40-80% der Korngrenzlinie bildend, an Quarzkornoberflächen z.T. feine limonitische Punktreihen bis dünne Teilhüllen, insgesamt relativ dichte Packung	
Sichtbarer Porenraum	Mäßig feinporös: 0,05-0,10, seltener bis 0,12 mm	
Struktur	Korngrößen: Quarz: (0,06) 0,10-0,20 (-0,22 mm), tonige Aggregate um 0,10x0,25 mm	
	Kornformen: meist isometrisch, z.T. vieleckig und gedrunen länglich	
Textur (Schichtung)	Undeutliche Schichtung mit sehr kleinen, alterierten Glimmern	
Sonstiges		








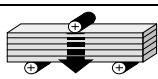
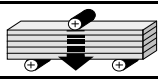
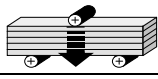
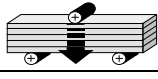
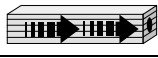


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe RKH
Herkunft der Probe		Rockhausen	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	1,94	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74	
Gesamtporosität	[V.-%]	26,24	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,70	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,19	
<div>Porenvolumenverteilung der Probe RKH</div> <div></div>			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,63	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	12,87	
Sättigungswert	[-]	0,83	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		42,41
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		16,16
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,12	
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe RKH</div> <div></div>			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe RKH
Herkunft der Probe		Rockhausen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		24,10
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		16,08
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		9,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		19,10
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,40
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,20
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4948
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3069
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		7204
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,350
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,183

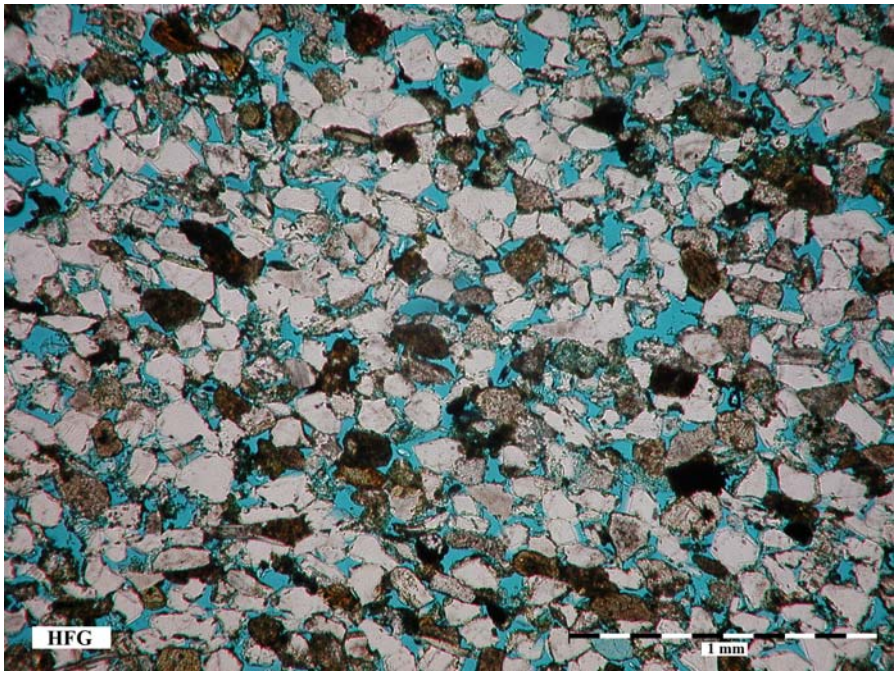
Megaskopischer Überblick		Probe HST
Herkunft der Probe	Hochstedt Material aus dem südlichen Steinbruch	
Abbauort	Hochstedt	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-glimmrig und tonig-ferritisch gebundener, gelbgrüner, feinkörniger, glimmerreicher Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbgrün, olivgrün, graugrün	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Laminen und Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	stark ausgeprägt durch lange Glimmer	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Gebäude und Mauern in Hochstedt	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

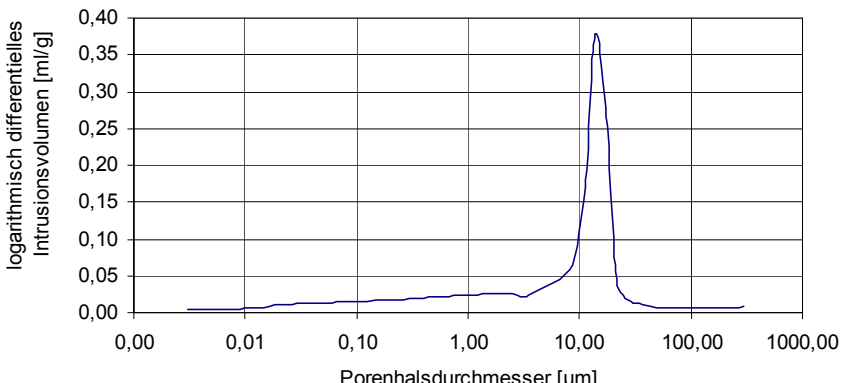


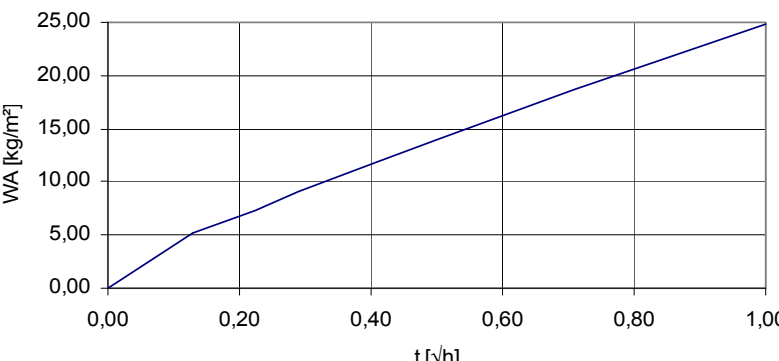
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HST
Herkunft der Probe	Hochstedt	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Feldspäte</p> <p>Gesteinsbruchstücke: sehr viele kleine, mehr oder weniger stark serizitisch durchsetzte Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: häufig lange Muskovite (bis 0,6 mm) und gering alterierte Biotite (bis 0,5 mm), noch häufiger feinste Glimmerschüppchen (um 0,1 mm),</p> <p>Grünliche Minerale: braune und braungüne stark alterierte Biotite (0,06x0,32 mm)</p> <p>Sonstiges: braungraue Schlufffasern mit Quarzen und langen Glimmern, z.T. schwarzbraun (kohlig)</p>	
Bindemittel	tonig und tonig-ferritisch, lange, olivbraune, unregelmäßige Fasern (oft feinglimmig) und ferritisch pigmentierte grünliche Aggregate, wenig sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	<p>bindemittelreiche Streifen (rechte Hälfte des Bildes): aus ca. 30-40 % tonigen, ferritischen und glimrigen Substanzen, Quarze z.T. in tonigen Fasern eingebettet, keine Quarzkornbindung, relativ hohe Packungsdichte, durch glimrige Fasern jedoch keine eigentliche Bindekraft.</p> <p>bindemittelärmere Streifen (linke Hälfte des Bildes): weniger tonige Substanzen, untergeordnete Quarzkornbindung, z.T. punktförmig, z.T. direkte Bindung an ca. 30 % der Korngrenzlinie, z.T. isolierte Körner</p>	
Sichtbarer Porenraum	in bindemittelärmeren Streifen feine und hohe Porosität (um 0,12 mm), sonst gering und feinporös (0,03-0,07 mm)	
Struktur	Korngrößen: Quarz: (0,04) 0,06-0,18 mm, Maximum 0,10-0,12 mm	
	Kornformen: meist isometrisch, z.T. gedrunken länglich, wenig splittig	
Textur (Schichtung)	stark ausgeprägt durch lange Glimmer, mehrfach schichtig aufgespalten an langen Pflanzenresten, Schlufffasern und stark alterierten Biotiten	
Sonstiges	braune bis schwarze kohlige Pflanzenreste und kohlige Bröckchen	








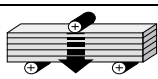
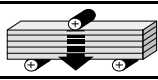
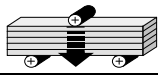
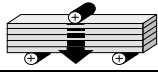
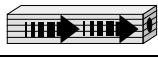


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HST	
Herkunft der Probe		Hochstedt		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,62		
Rohdichte	[g/cm³]	1,93		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,74		
Gesamtporosität	[V.-%]	26,33		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,52		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,15		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe HST</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	11,40		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,53		
Sättigungswert	[-]	0,84		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		37,83	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		13,02	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,09		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HST</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HST
Herkunft der Probe		Hochstedt	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		21,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		17,98
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		9,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,10
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3207
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,400
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,253

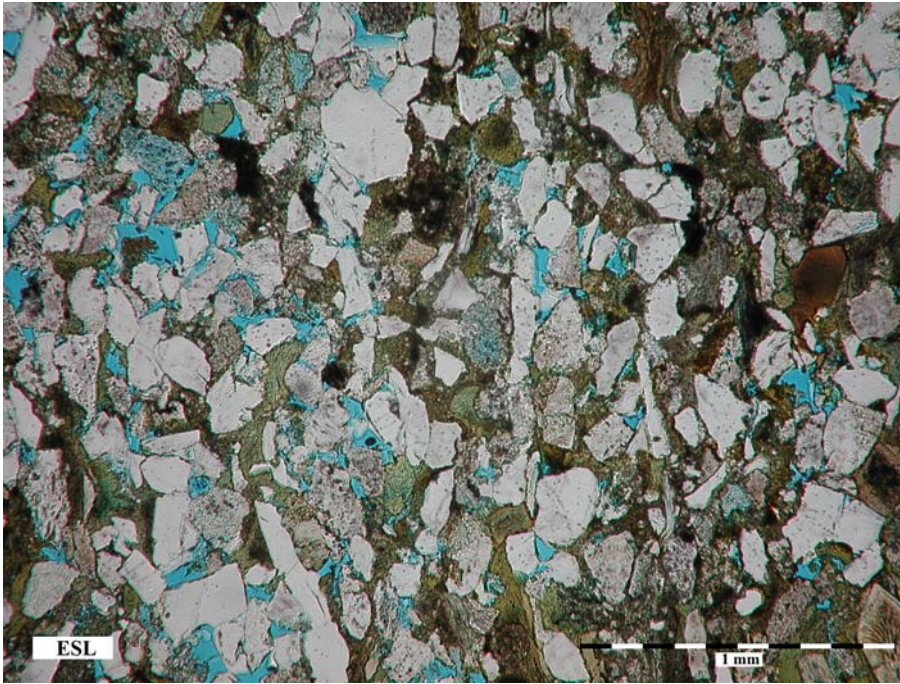
Megaskopischer Überblick		Probe HFG
Herkunft der Probe	Hopfgarten Abbruchmaterial aus Hopfgarten	
Abbauort	Hopfgarten	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-glimmig und tonig-ferritisch gebundener, olivgrüner, feinkörniger, glimmerreicher Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbgrün, olivgrün	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Laminen und Flecken	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	undeutliche Schichtung	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Gebäudebestand in Hopfgarten	
Literaturhinweise	SCHMID (1873), GRÄBE (1978)	

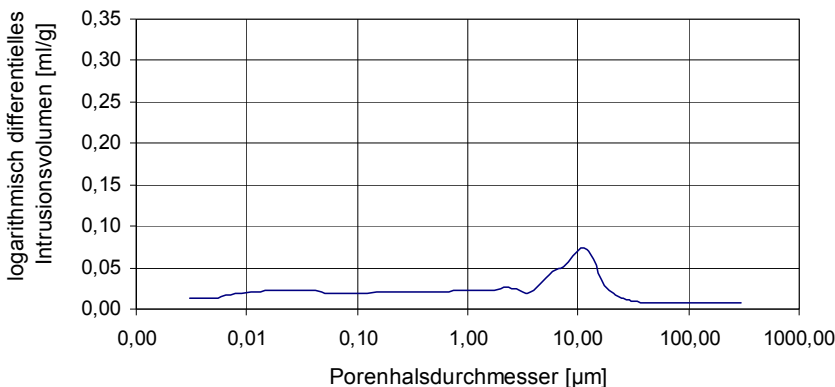


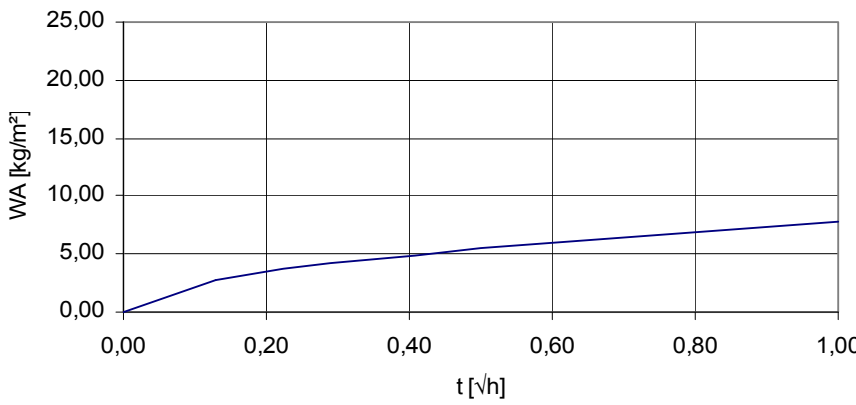
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HFG
Herkunft der Probe	Hopfgarten	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: reichlich kleinste Glimmerschüppchen (bis 0,12 mm), vereinzelt alterierter, ferritisch durchsetzter Biotit, bräunliche Fasern bildend	
	Grünliche Minerale	
	Sonstiges: häufig nicht auflösbare braune und bräunlichgraue, ferritisch durchsetzte Körner	
Bindemittel	stark zurücktretendes toniges Bindemittel, mäßige sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	Kornbindung z.T. punktförmig, z.T. direkte längliche Kontakte an ca. 20-30 % der Korngrenzlinie, z.T. isolierte Körner, geringe Packungsdichte	
Sichtbarer Porenraum	feinkörnige Partien: feinporös 0,02-0,09 mm größere Partien: 0,04-0,06 / 0,12-0,20 mm / 0,10x0,25 mm verzweigtes Porennetz, stark aufgeweitet, porös	
Struktur	Korngrößen: Quarze 0,06-0,16 (-0,20 mm), in einigen Lagen vorherrschend um 0,07-0,12 mm, braune Körner 0,12-0,20 mm, ferritische Bindemittelfasern um 0,10x0,30 mm	
	Kornformen: unregelmäßig eckig, selten leistenförmig	
Textur (Schichtung)	undeutlich schichtig	
Sonstiges		








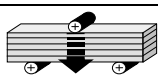
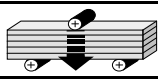
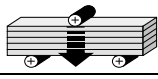
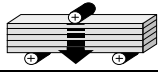
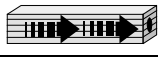


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFG	
Herkunft der Probe		Hopfgarten		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,60		
Rohdichte	[g/cm³]	1,86		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72		
Gesamtporosität	[V.-%]	28,46		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,62		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	3,42		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe HFG</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	12,10		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	15,04		
Sättigungswert	[-]	0,80		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		32,51	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		20,72	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,93		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HFG</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFG
Herkunft der Probe		Hopfgarten	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		15,40
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		17,73
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		12,65
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		14,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		10,42
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		18,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		1,90
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,83
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3741
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2478
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4822
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,395
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,211

Megaskopischer Überblick		Probe ESL
Herkunft der Probe	Eischleben Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Eischleben	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	Graugrün, hellgelbgrün	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Laminen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	deutliche Schichtung durch Korngrößenwechsel und starke Bindemittelanreicherungen	
Verwitterungsverhalten	mäßig bis schlecht Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Gebäude in Eischleben	
Literaturhinweise	SCHMID (1885)	

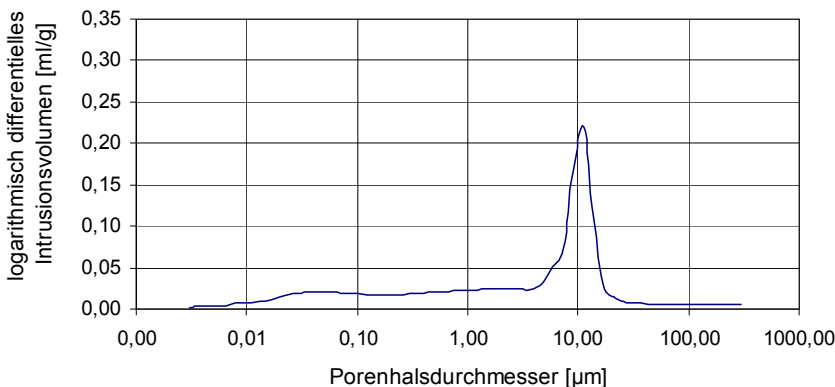


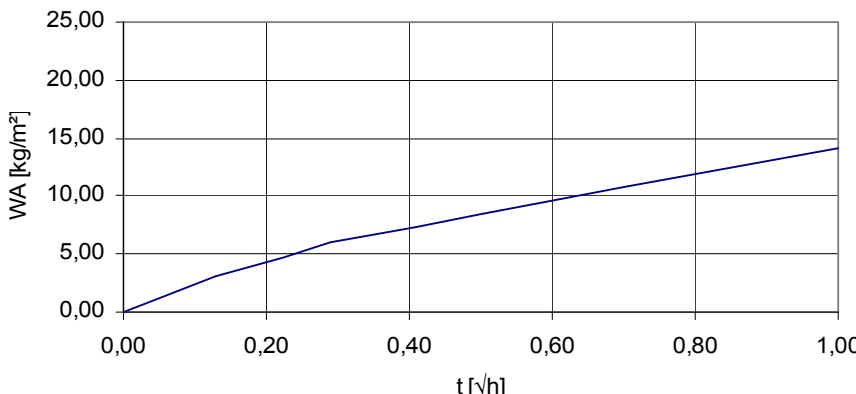
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe ESL
Herkunft der Probe	Eischleben	
Abbildung		
Komponenten	<p>Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke</p> <p>Glimmer: wenig Muskovite, häufig grüner und brauner, alterierter Biotit</p> <p>Grünliche Minerale: wenig grüne Flecken (Chlorit)</p> <p>Sonstiges: eingelagert: eine auskeilende Ton-Schluff-Lage und viele tonige Schlufffasern aus grüner und bräunlicher Substanz, groben Quarzen und kohligen Resten</p>	
Bindemittel	Reichlich, schichtig wechselnd grün-bräunliche Substanz, z.T. feinstschuppig (wohl chloritartig) z.T. feinfasrig (aus Glimmer herleitbar), oft ferritisch pigmentiert. Sekundäre SiO ₂ -Anlagerung an sehr vielen Quarzkörnern	
Diagenese (Kornbindung)	<p>tonige und schluffige Substanzen (Flasern, Flecken unterschiedlichen Ausmaßes) und tonige Säume zwischen Klasten (0,01- 0,07 mm breit), in schichtigen Anreicherungen (ca. 30% der Schlufffläche- siehe Bild rechtes Drittel), in ca.70% des Schliffes: stärker porös (Partie in linker Bildhälfte).</p> <p>Sekundäre SiO₂-Anwachssäume und häufig Ausstülpungen in Zwickel, längere direkte Kornkontakte nur bei 10% der Quarzkörner, bei 50-60% geringfügige Verringerung des Porenraumes</p>	
Sichtbarer Porenraum	Bindemittelreiche Partien: gering und kleinporös (0,03- 0,10 mm), bindemittelarme Partien: stark und gröber porös (bis 0,3 mm)	
Struktur	<p>Korngrößen: Quarze: feinerkörnige Lagen: um 0,07-0,20 mm, sonst 0,07-0,20 bis 0,25 mm; Flasern: 0,10 über 0,20 bis 0,25x1,10 mm</p> <p>Kornformen: auffällig viele längliche Quarze und Feldspäte: 0,12x0,40 bis 0,17x0,53 mm, insgesamt wenig isometrische Formen</p>	
Textur (Schichtung)	deutliche Schichtung durch Korngrößenwechsel und starke Bindemittel-anreicherungen	
Sonstiges	Mehrfach lange kohlige Partikel, z.T. in viele Bröckchen zerfallend, mehrfach runde und ovale, grünolive Fossilreste, max. 0,12x1,00mm	








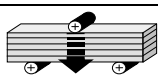
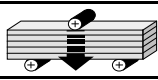
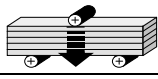
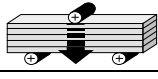
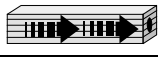


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ESL	
Herkunft der Probe		Eischleben		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,70		
Rohdichte	[g/cm³]	2,06		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,76		
Gesamtporosität	[V.-%]	23,70		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	23,51		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,65		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe ESL</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,81		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,37		
Sättigungswert	[-]	0,85		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		52,56	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		5,71	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,75		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe ESL</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe ESL
Herkunft der Probe		Eischleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		40,00
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		37,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		28,00
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		25,70
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		20,40
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		16,81
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		28,70
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,20
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6328
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2238
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9743
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,417
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,300

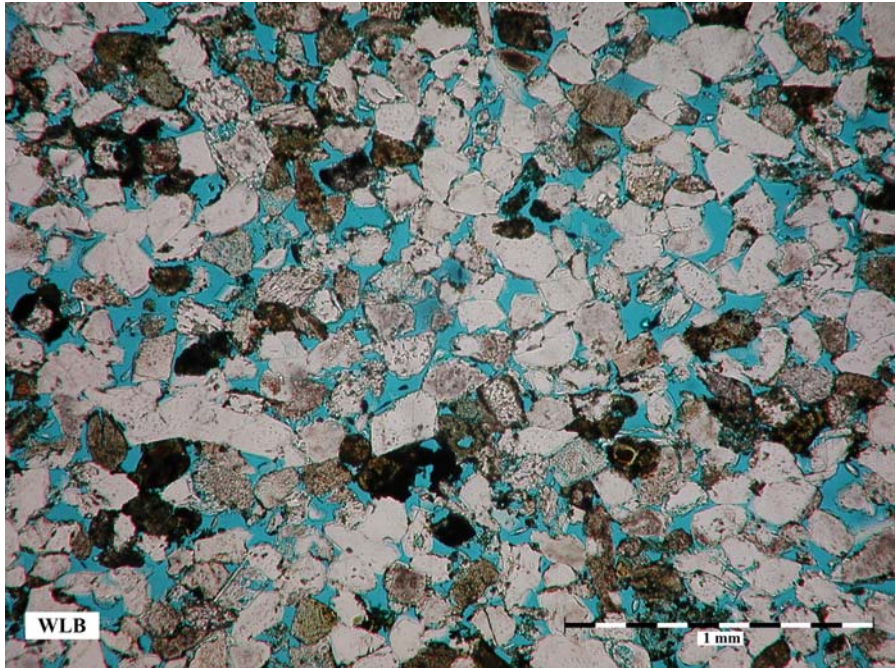
Megaskopischer Überblick		Probe KHH
Herkunft der Probe	Kirchheim Abbruchmaterial aus dem Steinbruch	
Abbauort	Kirchheim	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, graugrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	graugrün	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Schlieren und Flecken	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	angedeutet durch tonige Schlieren	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Kirchheim: Mauerwerk der Gebäude (meist verputzt), Torhaus Gebäudebestand in Werningsleben	
Literaturhinweise	SCHMID (1885), GRÄBE (1978)	

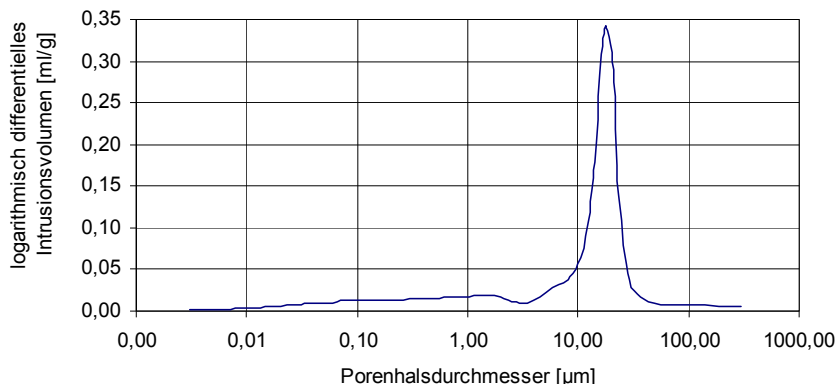


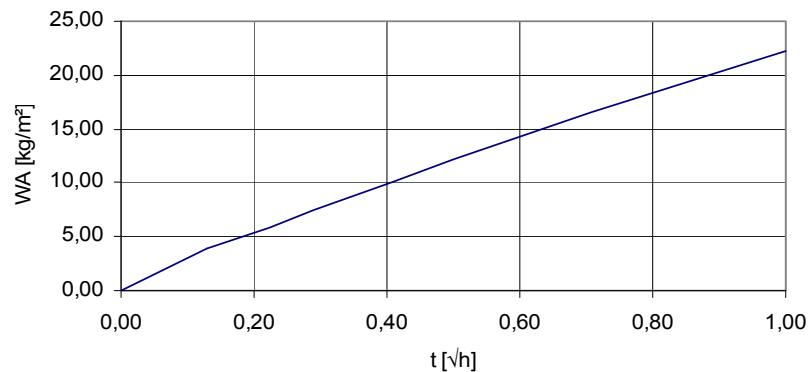
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe KHH
Herkunft der Probe	Kirchheim	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: selten kleine Muskovitblättchen, grünlich und ferritisch pigmentierte alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale: alterierte vergrünte Biotite	
	Sonstiges: opake Körner (kohlige Substanz?)	
Bindemittel	helle und braune tonige kleinen Flocken, braun pigmentierte Substanz zwischen den Körnern, mäßige sekundäre SiO ₂ -Anlagerungen, sehr geringfügig Karbonat	
Diagenese (Kornbindung)	Karbonat: nur kleinfleckig kleine Poren füllend, kleinste Quarzkörner umschließend (im Bild linke untere Ecke), Anteil an tonig-schluffigem Bindemittel gering, dadurch und wegen kleinerer Poren relativ gute Kornbindung in Form eines dichteren, zusammenhängenden Gerüsts von Klasten	
Sichtbarer Porenraum	Überwiegend feinporös und relativ gering porös (0,02-0,12 mm)	
Struktur	Korngrößen: Quarz (0,06) 0,10-0,20 (-0,22 mm)	
	Kornformen: überwiegend isometrisch und rundlich	
Textur (Schichtung)	Schichtung nicht erkennbar	
Sonstiges	Opake Körner: 0,04-0,20 mm	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KHH	
Herkunft der Probe		Kirchheim		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,68		
Rohdichte	[g/cm³]	2,02		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,75		
Gesamtporosität	[V.-%]	24,70		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	25,08		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,13		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe KHH</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,94		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	11,80		
Sättigungswert	[-]	0,84		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		45,22	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		10,72	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,10		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe KHH</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe KHH
Herkunft der Probe		Kirchheim	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		30,10
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		21,88
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		17,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3,50
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,30
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5377
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2487
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8365
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,358
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,192

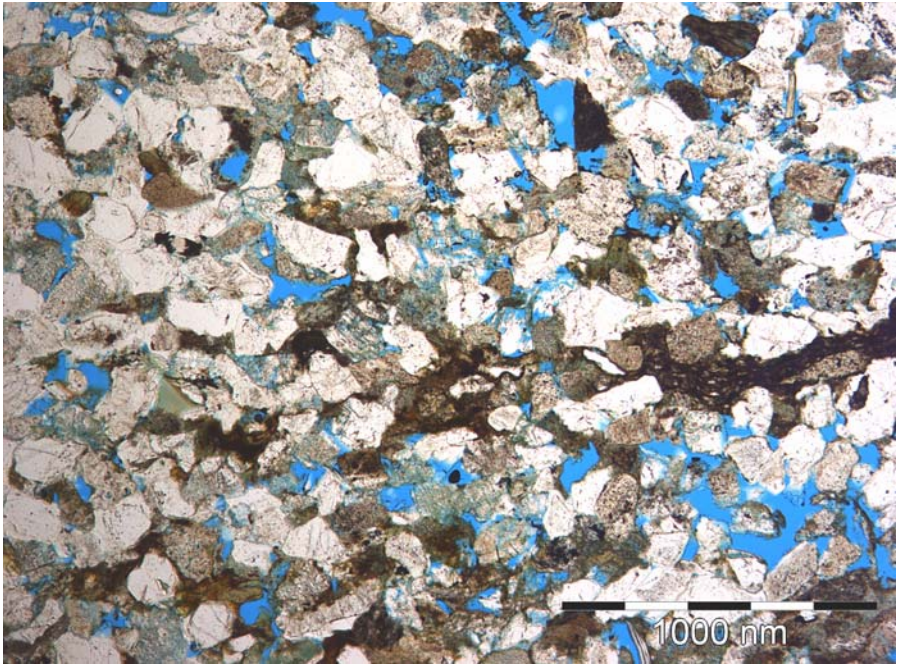
Megaskopischer Überblick		Probe WLB
Herkunft der Probe	Werningsleben Abbruchmaterial aus Werningsleben	
Abbauort	Vermutlich Elxleben (bei Arnstadt) oder Kirchheim	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, gelbbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbbraun, graubraun	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Flecken (punktförmig)	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	nicht erkennbar	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Mauerwerk der Gebäude, Ausfachungen, Toreinfassungen in Elxleben und Werningsleben	
Literaturhinweise	SCHMID (1885), GRÄBE (1978)	

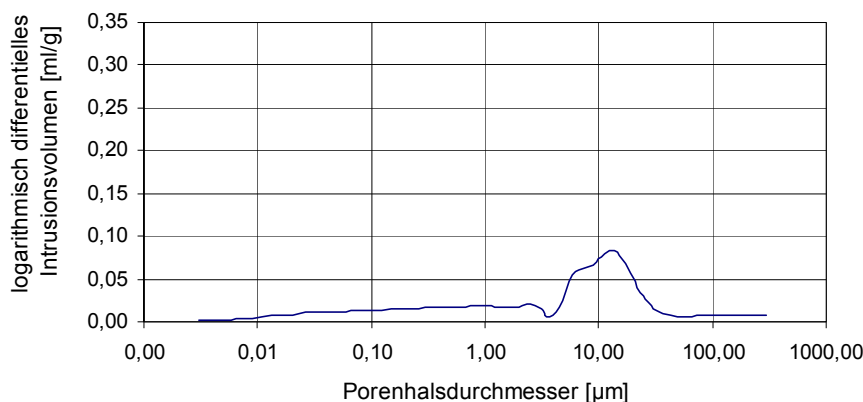


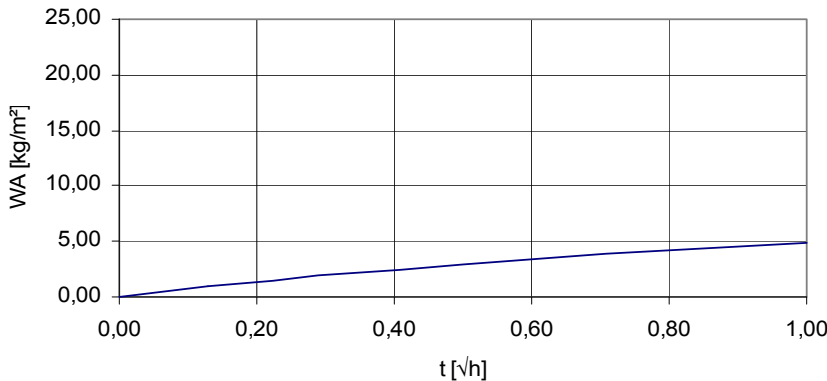
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe WLB
Herkunft der Probe	Werningsleben	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: Orthoklase meist relativ frisch, viele feinstdurchstäubt (Eigenfarbe) nur wenige kleine Orthoklase stärker serizitisiert, wenige frische Plagioklase	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr selten kleine Muskovite, selten alterierte Biotite: grünlich und ferritisch pigmentiert	
	Grünliche Minerale: wenige grünliche, stark ferritisch durchsetzte Körner und Flasern	
	Sonstiges	
Bindemittel	mäßig häufig helle tonige Aggregate (bis 0,20 mm), graue, nicht auflösbare Körner und Flecken, geringe sekundäre SiO ₂ -Anlagerungen, fein verteilte ferritische Pigmentierung	
Diagenese (Kornbindung)	trotz hoher Porosität direkte Kornbindung der Klasten über mind. 20 %, häufig größere zusammenhängende Kornverbände über 40-60 %, vereinzelt bis 80 % der Korngrenzlinie	
Sichtbarer Porenraum	stark porös, 0,05-0,20 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,06) 0,10-0,20 (-0,25 mm) ((-0,32 mm))	
	Kornformen: überwiegend isometrisch, häufig viereckig, 10-15 % prismatisch, mehrere längsprismatisch (davon häufig Feldspäte)	
Textur (Schichtung)	nicht erkennbar	
Sonstiges		















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe WLB	
Herkunft der Probe		Werningsleben		
Gefügekenwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,64		
Rohdichte	[g/cm³]	1,90		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72		
Gesamtporosität	[V.-%]	28,03		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	26,30		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	2,97		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe WLB</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	10,34		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	13,62		
Sättigungswert	[-]	0,81		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		35,44	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		21,20	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,91		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe WLB</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe WLB
Herkunft der Probe		Werningsleben	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		19,83
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		15,70
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,30
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,30
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,30
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4760
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2860
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		7160
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,201
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,097

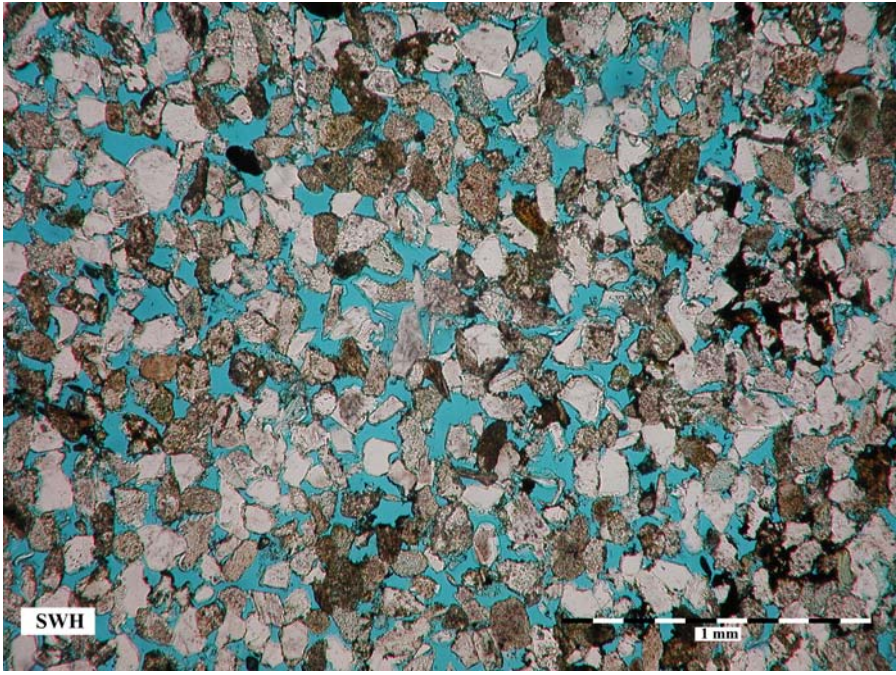
Megaskopischer Überblick		Probe MAR
Herkunft der Probe	Marisfeld Abbruchmaterial aus der Kirchmauer	
Abbauort	Marisfeld	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch und kieselig gebundener, graugelber, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgelbbraun, graugelb	
Detailfarben	schwärzliche und bräunliche Laminen	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	erkennbar durch Laminen	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Marisfeld Kirche (15. Jh., 18. Jh.) und Schloss (17. Jh.)	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1888)	

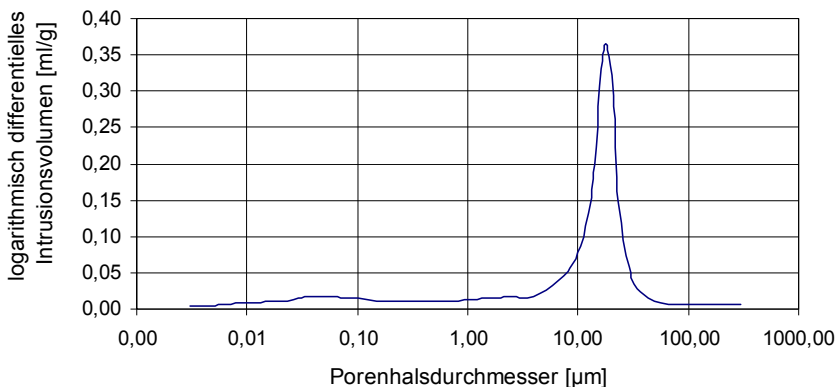


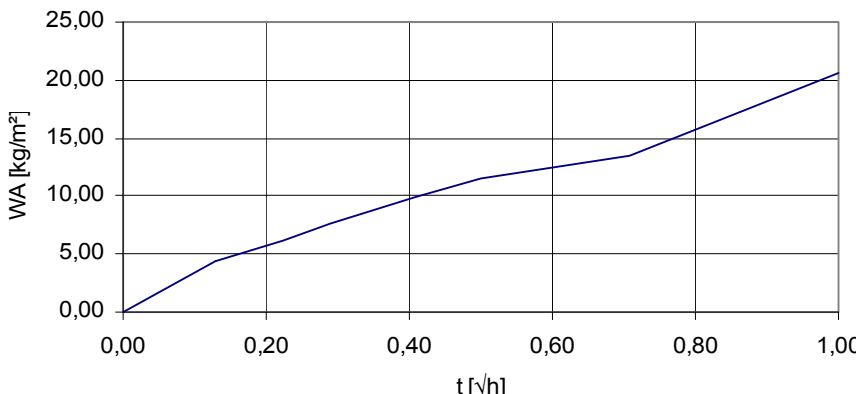
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe MAR
Herkunft der Probe	Marisfeld	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: relativ reichlich Orthoklas, wenig Plagioklas	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenig Muskovit, davon mehr lange (bis 0,9 mm) als kurze Blättchen, wenig alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale: z.T. chloritisierte Biotite	
	Sonstiges	
Bindemittel	mäßig helle tonige Substanz, mittlerer Anteil (ca. 10%) an hellbrauner, tonig-ferritischer Substanz, sekundäre SiO ₂ -Anlagerung vorhanden	
Diagenese (Kornbindung)	Enge Bindung besteht: durch enge Kontakte zwischen Quarzen und Feldspäten (direkte Kontakte über 50-80% der Korngrenzlinien), durch helle tonige und durch feine, dünne ferritische Zwickelfülle und z.T. Porenauskleidung, durch SiO ₂ -Anlagerung mit direkten und langen Kornkontakten über 30-60% der Korngrenzlinie, dazu Ausstülpungen in Zwickel.	
Sichtbarer Porenraum	Sehr gering, meist (0,04)-0,08-0,12 mm	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,09) 0,10-0,20 (-0,25 mm), selten große Orthoklase: 0,20 x 0,50 mm	
	Kornformen: kurzprismatisch, sehr unregelmäßig, viele mit eckigen Fortsätzen	
Textur (Schichtung)	z.T. angedeutet durch eingeregeltere lange Muskovite	
Sonstiges		















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MAR	
Herkunft der Probe		Marisfeld		
Gefügekenwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,62		
Rohdichte	[g/cm³]	2,10		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,80		
Gesamtporosität	[V.-%]	19,85		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	19,41		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	2,57		
<div>Porenvolumenverteilung der Probe MAR</div> <div></div>				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	6,67		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	8,90		
Sättigungswert	[-]	0,75		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		65,85	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		4,33	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,52		
<div>Kapillare Wasseraufnahme der Probe MAR</div> <div></div>				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MAR
Herkunft der Probe		Marisfeld	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		51,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		49,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		40,63
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		34,10
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		43,00
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8,60
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		5,90
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13724
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		9212
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		17015
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,096
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,053

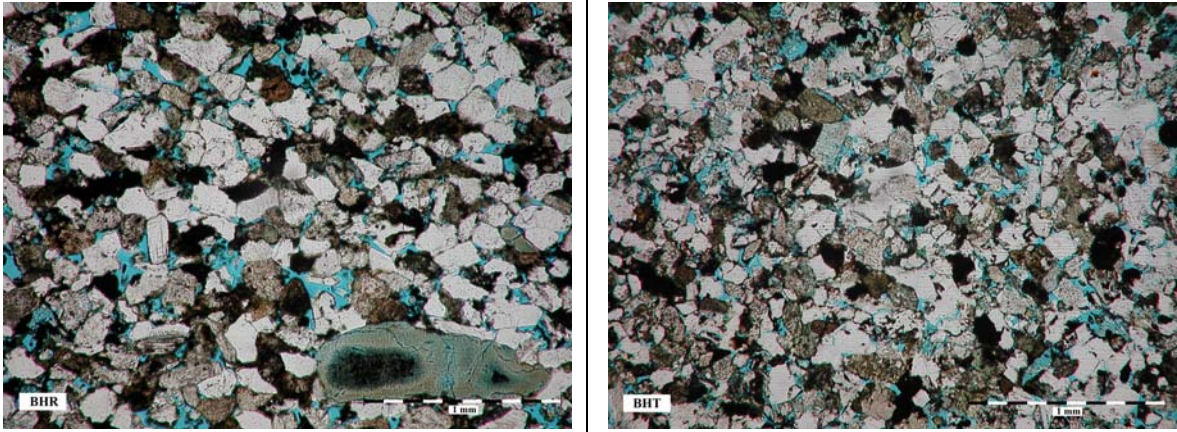
Megaskopischer Überblick		Probe SWH
Herkunft der Probe	Schwickershausen Abbruchmaterial aus Schwickershausen	
Abbauort	Schwickershausen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig und untergeordnet kieselig gebundener, graugelber, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	hellgelbbraun, graugelb	
Detailfarben	bräunliche Punkte	
Struktur	feinsandig, feinporig homogen	
Textur	Schichtung kaum erkennbar, löchrige Auswitterungen	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	Schloss (1549) und Kirche (1793) in Schwickershausen Gebäudebestand in Schwickershausen	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1888), SCHRÖDER (2002)	

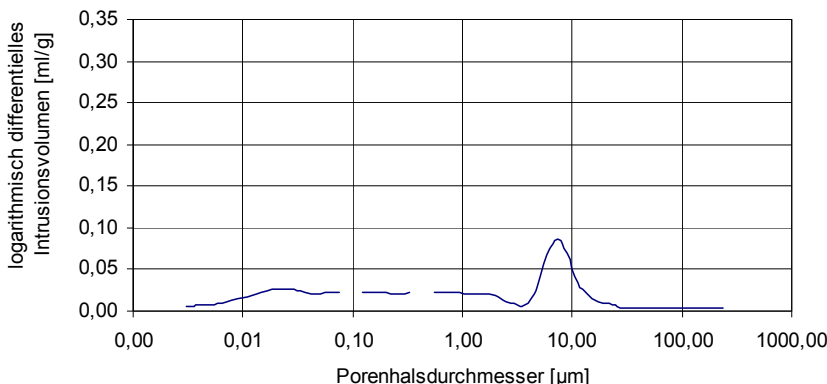


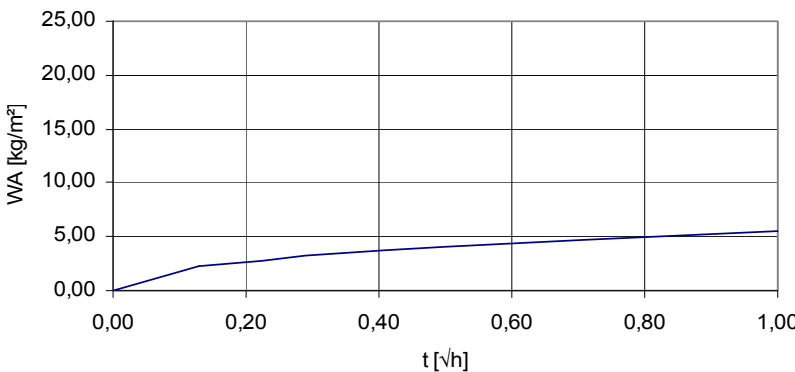
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe SWH
Herkunft der Probe	Schwickershausen	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr selten lange Muskovite (bis 0,6 mm), wenig kleine Muskovite (0,12-0,20 mm), leicht vergrünte Biotite, sehr selten gering alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale	
	Sonstiges	
Bindemittel	Wenig helle und hellbraune, tonige Flasern (0,09x0,25 mm) und Streifen im Wechsel mit grobporöser, bindmittelfreier Struktur; Sekundäre SiO ₂ -Anlagerung: in porösen Bereichen häufig als Teilsäume	
Diagenese (Kornbindung)	Durch sehr starke Porosität gering verfestigt: nur z.T. durch tonige Flasern und Streifen gebunden, z.T. längere Quarzkontakte in kleinen Kornverbänden, häufig isolierte Klasten im Schliff	
Sichtbarer Porenraum	Sehr große und meist zusammenhängende Porenräume	
Struktur	Korngrößen: (0,05-0,06) 0,09-0,15 (-0,20 mm)	
	Kornformen: meist isometrisch, ca. 15% prismatisch bis langprismatisch	
Textur (Schichtung)	Geringe schichtige Einregelung durch wenig Glimmer, langprismatische Körner und selten Bindemittelanhäufungen	
Sonstiges		















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SWH
Herkunft der Probe		Schwickershausen	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	1,90	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,72	
Gesamtporosität	[V.-%]	27,77	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	28,49	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,35	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe SWH</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	11,00	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	14,01	
Sättigungswert	[-]	0,79	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		27,17
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		18,64
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,94	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe SWH</p> 			


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SWH
Herkunft der Probe		Schwickershausen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		25,50
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		22,47
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		20,13
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		18,88
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		15,70
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		13,94
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		18,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,60
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,00
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3858
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2535
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4984
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,290
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,240

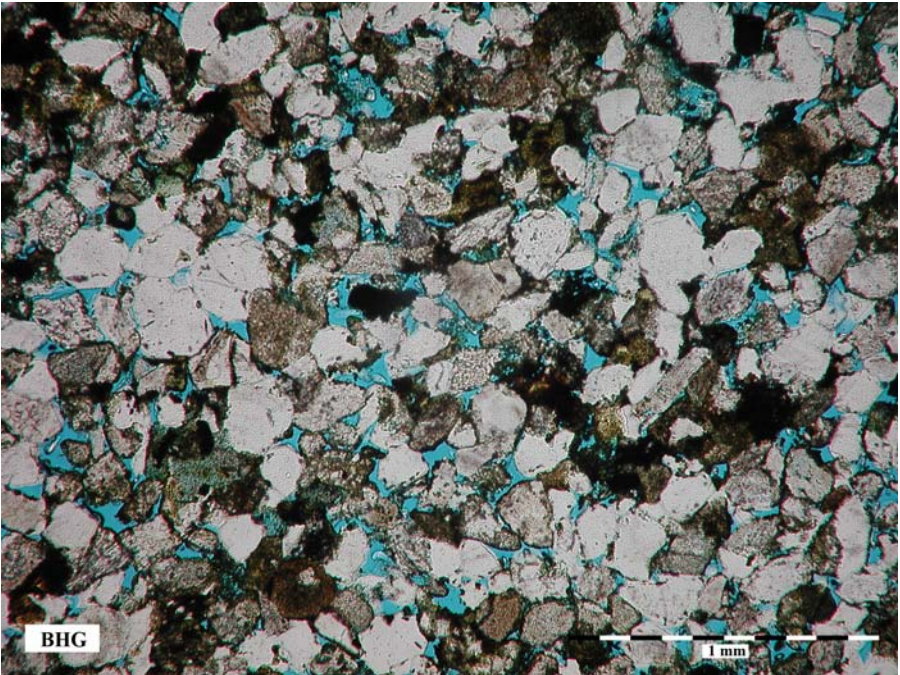
Megaskopischer Überblick		Probe BHR
Herkunft der Probe	Bedheim Abbruchmaterial aus der Schlossmauer von Bedheim	
Abbauort	Bedheim	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und kieslig gebundener, rotbrauner, feinkörniger, glimmerreicher Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
		
Abbildungen	links rotbraune, rechts getiegerte Varietät Musterplatten trocken, Oberfläche gesägt	
Gesamtfarbe	rotbraun, graubraun, grünbraun, getiegert	
Detailfarben	rostbraune Schichtungen und Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Deutliche Schichtung mit eingeregelten, gehäuft tonigen und ferritischen Komponenten, streifige Korngrößenänderungen	
Verwitterungsverhalten	Relativ gut witterungsbeständig. An mehreren Bauwerken auch noch nach bis zu 400 Jahren Standzeit gut erhalten. Schadbilder: Schalenbildung, Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Schloss Bedheim (ab 16. Jh.), Kirchen in Bedheim (1696), Gleicherswiesen (1843), Simmershausen (1881), Gebäude, Scheunen, Sockel in den umliegenden Orten, Mauer- und Werkstein, Bildhauerstein, Schleifsteine	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1895), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), WEISS (1990), PATZELT (1995), FISCHER (1999), KATZSCHMANN ET AL. (2006)	

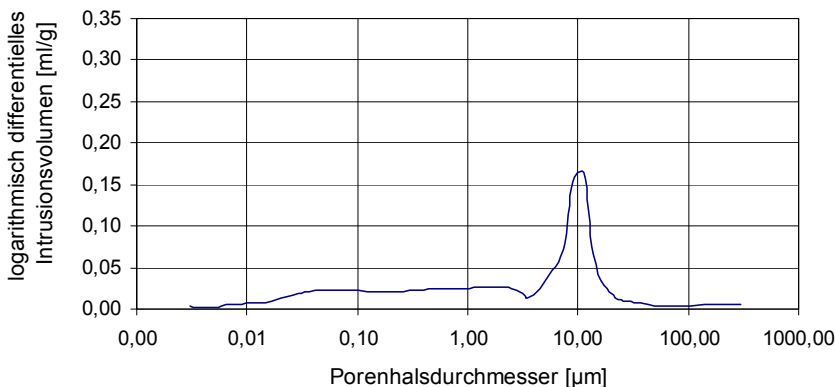


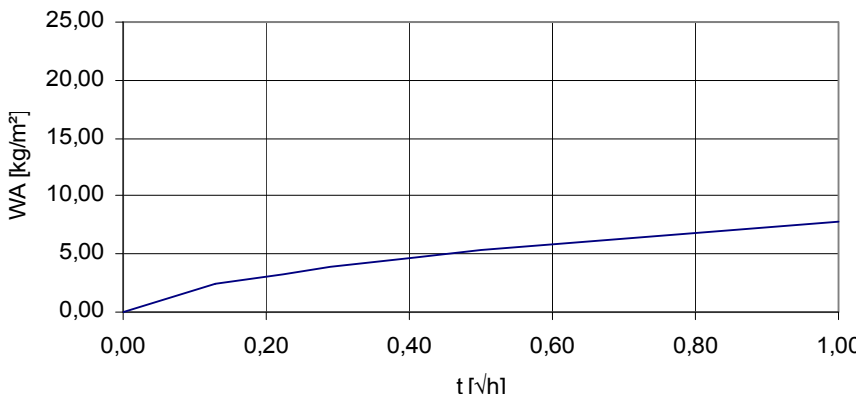
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe BHR
Herkunft der Probe	Bedheim	
		
Abbildungen	links rotbraune, rechts getiegerte Varietät	
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücken	
	Glimmer: häufig stark alterierte Glimmer, oft ferritisch durchsetzt, kleine Aggregate um 0,07 mm, größere um 0,12x0,25 mm meist kurzfasrige Muskovite (0,12-0,20 mm), selten kurze, alterierte Biotite	
	Grünliche Minerale	
	Sonstiges: selten Fossilreste: olivgrün mit olivbraunem, isotropen Kern	
Bindemittel	relativ große tonige und tonig-ferritische Aggregate zwischen Klasten (um 0,25 mm, 0,17x0,5 mm), z.T. als limonitische Teilhüllen (0,006-0,06 mm breit), größere braune, braunschwarze und opake Körner (0,04-0,25 mm), ferritische Substanz: ca. 5-10 %, z.T. bis 20 %, mehrfach rötlichbraune Klasten infiltriert, Reichlich sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Mehrfach Quarze mit engen und z.T. langen Kornkontakten, breite ferritische Substanz, z.T. fleckenartig, flasrig und Porenräume füllend, z.T. mit tonigen Partikeln angehäuft, vereinzelt Klasten ferritisch dünn überzogen, z.T. auch breit ummantelt (30-50 %), oft bis 100 % des Kornumfangs.</p> <p>Größere Kornverbände durch breite sekundäre SiO₂-Säume mit engen und langen Kornkontakten (rechte obere Ecke im rechten Bild).</p> <p>Durch ferritische und kieslige Bindemittel dichte Packung.</p>	
Sichtbarer Porenraum	gering und feinporös (0,02-0,08 (-0,12 mm), überwiegend Einzelporen	
Struktur	Korngrößen: rotbraune Varietät: (0,06-0,10mm) 0,12-0,24 (0,30 mm) getiegerte Varietät 0,04-0,15 (-0,20 mm) ((-0,28 mm)) in schichtiger Anordnung	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch, geringer Anteil prismatisch, davon häufig spitz endend, kleine Körner meist splittig, größere z.T. unregelmäßig gelappt, geringe Kornsortierung	
Textur (Schichtung)	Deutliche Schichtung mit eingeregelter, gehäuft tonigen und ferritischen Komponenten, dazwischen klastenreiche Lagen mit wenig ferritischer Substanz. Streifige Korngrößenänderungen	
Sonstiges	Selten größere, länglich-rundliche Fossilreste: olivgrün mit olivbraunem, isotropen Kern (linkes Bild unten rechts)	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BHR	
Herkunft der Probe		Bedheim		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,66		
Rohdichte	[g/cm³]	2,12		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,80		
Gesamtporosität	[V.-%]	20,25		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	19,89		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,40		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe BHR</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	7,82		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,22		
Sättigungswert	[-]	0,85		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		60,63	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		3,46	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,85		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe BHR</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BHR
Herkunft der Probe		Bedheim	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		46,81
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		35,11
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		27,94
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		34,40
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,00
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		1,93
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		7720
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3412
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12804
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,333
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,310

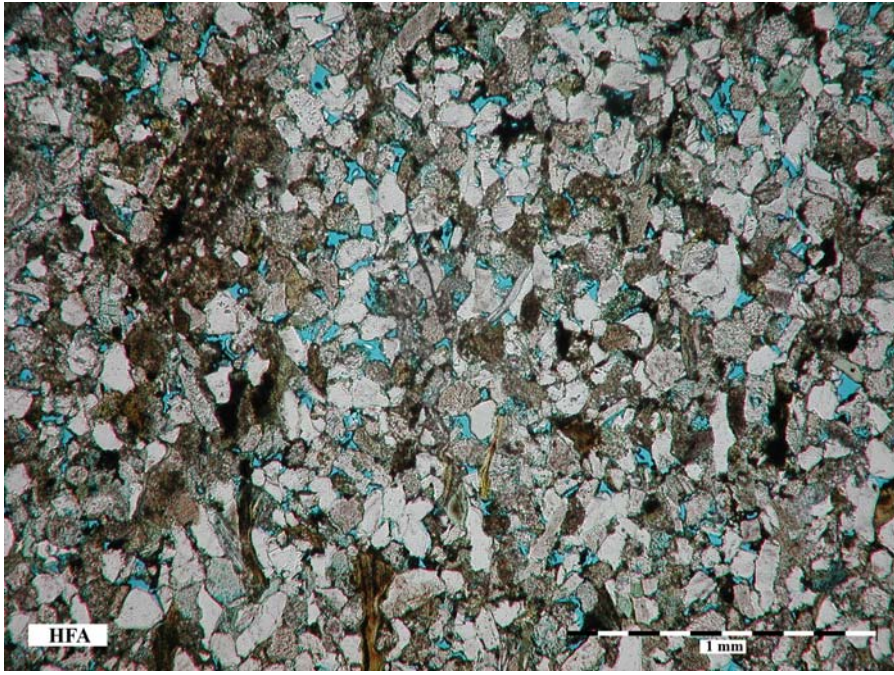
Megaskopischer Überblick		Probe BHG
Herkunft der Probe	Bedheim Abbruchmaterial aus der Schlossmauer von Bedheim	
Abbauort	Bedheim	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, grünbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	braungrün, olivgrün	
Detaillfarben	feine rostbraune Schichtungen und Flammungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	gering ausgeprägt, leichte Flammung	
Verwitterungsverhalten	Relativ gut witterungsbeständig. An mehreren Bauwerken auch noch nach 400 Jahren Standzeit gut erhalten. Schadbilder: Schalenbildung, Absanden, Abblättern	
Verwendungsbeispiele	Schloss Bedheim (ab 16. Jh.), Kirchen in Bedheim (1696), Gleichewiesen (1843), Simmershausen (1881), Gebäude, Scheunen, Sockel in den umliegenden Orten, Mauer- und Werkstein, Bildhauerstein, Schleifsteine	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1895), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), WEISS (1990), PATZELT (1995), FISCHER (1999), KATZSCHMANN ET AL. (2006)	

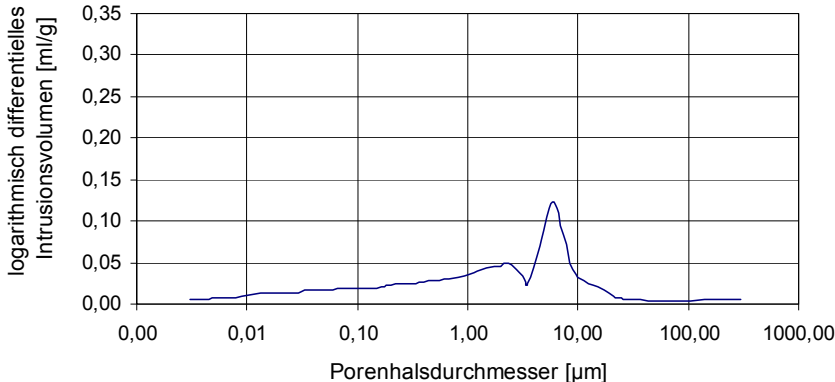


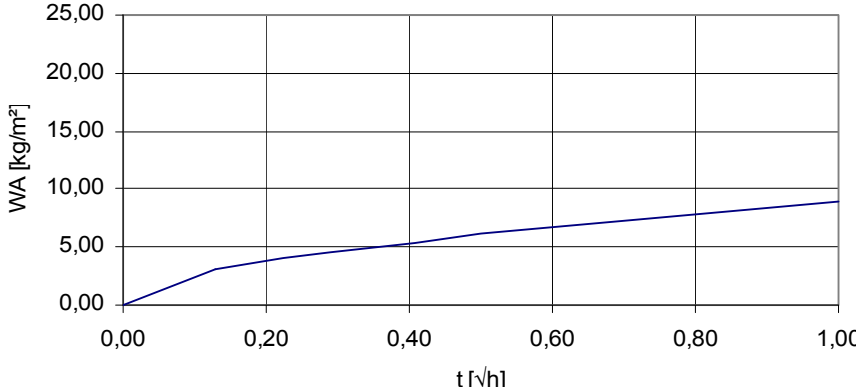
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe BHG
Herkunft der Probe	Bedheim	
Abbildung		
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: häufig alterierter Muskovit (oder gebleichter Biotit) 0,06x0,18 bis 0,19x0,25 mm, selten kurze, alterierte, bräunliche Biotite	
	Grünliche Minerale	
	Sonstiges: reichlich Tonsteinbröckchen, braungrau und braun	
Bindemittel	<p>Wenig helle tonige Aggregate (um 0,15x0,32 mm), reichlich dunkel- bis schwarzbraune und opake Körner (0,06-0,25 mm), größere Bereiche mit 10 % Anteil (oberer Bildrand), kleinere Bereiche mit 2-5 % Anteil,</p> <p>Ferritische Substanz in Zwickeln und an Korngrenzen, punktförmig, fleckenhaft;</p> <p>feinkristallines Karbonat: 0,05-0,10 mm, weniger als 0,1 % Anteil, graubräunlich feinstdurchstäubt, Reichlich sekundäre SiO₂-Säume</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Überwiegend enge Packung durch größere tonig-ferritische Porenfüllungen und Teilhüllen um Klasten,</p> <p>Karbonat nur als Zwickelfüllmasse, z.T. zwischen mehreren Klasten ausstrahlend bis umhüllend,</p> <p>sekundäre SiO₂-Säume z.T. mit Ausstülpungen in die Zwickel, nur kleine Kornverbände mit direkten Kornkontakten über 10-30 % der Korngrenzlinie</p>	
Sichtbarer Porenraum	<p>gering und feinporös</p> <p>in bindemittelarmen Lagen: 0,08-0,15 mm</p> <p>in bindemittelreichen Lagen: 0,02-0,06 mm</p>	
Struktur	Korngrößen: (0,06-0,09) 0,12-0,25 (0,32 mm)	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch-vieleckig, relativ häufig rundlich	
Textur (Schichtung)	nicht erkennbar	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BHG	
Herkunft der Probe		Bedheim		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,73		
Rohdichte	[g/cm³]	2,08		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,76		
Gesamtporosität	[V.-%]	23,81		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	19,75		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,62		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe BHG</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,32		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,08		
Sättigungswert	[-]	0,83		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		45,73	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		3,38	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,91		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe BHG</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe BHG
Herkunft der Probe		Bedheim	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		40,20
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		34,15
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		25,79
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,50
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4,20
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,33
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5582
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3588
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		9946
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,412
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,360

Megaskopischer Überblick		Probe HFA
Herkunft der Probe	Hindfeld Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Alter Steinbruch bei Hindfeld	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper, Schilfsandstein (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig gebundener, grünbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	Hellolivgrün, grünbraun, grüngrau	
Detailfarben	schwarzbraun gesprenkelt durch Schluffaggregate rostbraune Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Deutliche Schichtung durch linsenförmige Schluffaggregate	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	im Ortsbild von Römhild, Milz und Hindfeld sehr stark vertreten Römhild: Kirche (15. Jh.) und Schloss Glücksburg (15. Jh.) Hindfeld: Kirche, Torpfosten und Mauern	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1895), HOPPE (1939)	

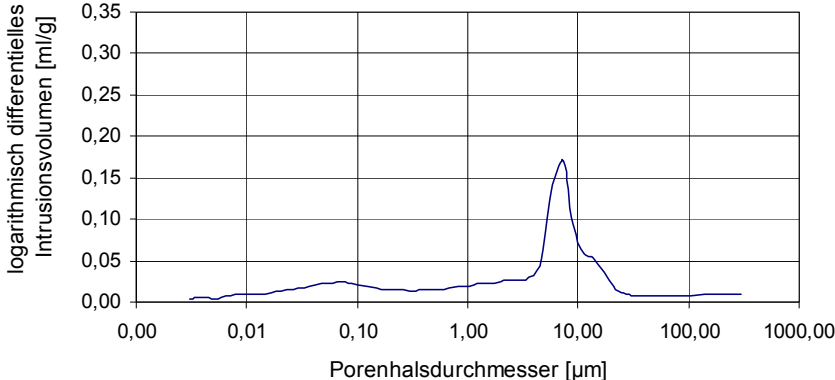


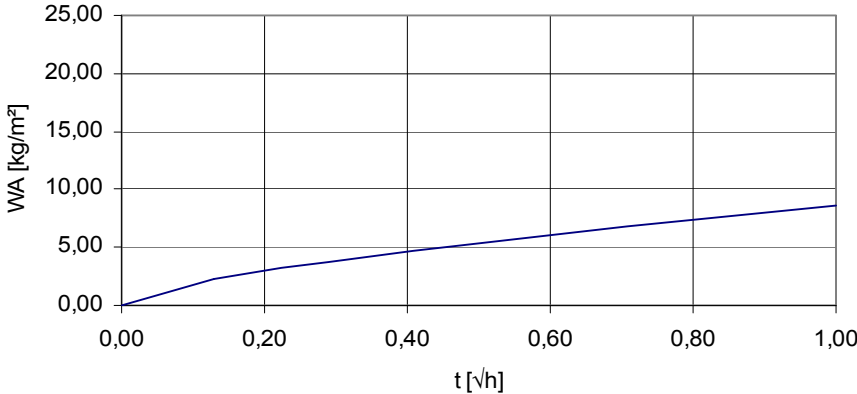
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HFA
Herkunft der Probe	Hindfeld	
Abbildung		
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: häufig lange Muskovite (bis 0,4 mm), reichlich kleine Glimmerschüppchen, braune alterierte Biotite (bis 0,10x0,38 mm)	
	Grünliche Minerale: selten kleine grünliche Aggregate (Chlorit)	
	Sonstiges: mehrere braune, ferritisch durchsetzte, tonige Schluffaggregate (im Bild linkes Drittel), mit reichlich alteriertem Biotit und kohligen Substanzen (flach, linsenförmig: ca. 0,38x2,30 mm oder 0,5x0,63 mm).	
Bindemittel	Reichlich helle und hellbräunliche, tonige Aggregate, davon wenige ferritisch pigmentiert, reichlich tonig-glimmrige Aggregate (um 0,20 mm), wenige punktförmige ferritische Substanz; sekundäre SiO ₂ -Anlagerung gering	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung über reichlich tonige Substanzen, reichlich Kontakte über kleine und größere Glimmeranteile, enge Packung. Quarzkornbindung nur gering in kleinen Kornverbänden (meist 2 bis 6 Körner und nur über 20-30% der Korngrenzlinie)	
Sichtbarer Porenraum	Gering und feinporös: 0,02 – 0,08 (-0,10 mm)	
Struktur	Korngrößen: (0,03) 0,06 – 0,12 (-0,16 mm)	
	Kornformen: unregelmäßig vieleckig und splittrig	
Textur (Schichtung)	Deutlich schichtig durch linsenförmige Schluffaggregate	
Sonstiges		








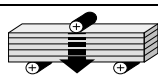
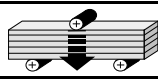
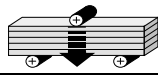
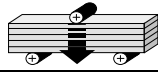
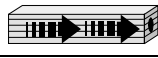


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFA	
Herkunft der Probe		Hindfeld (Alter Steinbruch)		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,62		
Rohdichte	[g/cm³]	2,04		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,78		
Gesamtporosität	[V.-%]	22,02		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	20,50		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,40		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe HFA</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,54		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,46		
Sättigungswert	[-]	0,86		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		40,86	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		5,93	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,39		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HFA</p> 				


Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFA
Herkunft der Probe		Hindfeld (Alter Steinbruch)	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		32,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		24,23
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		14,00
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		27,60
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		2,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		0,70
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		3491
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		1341
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		6499
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,482
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,335

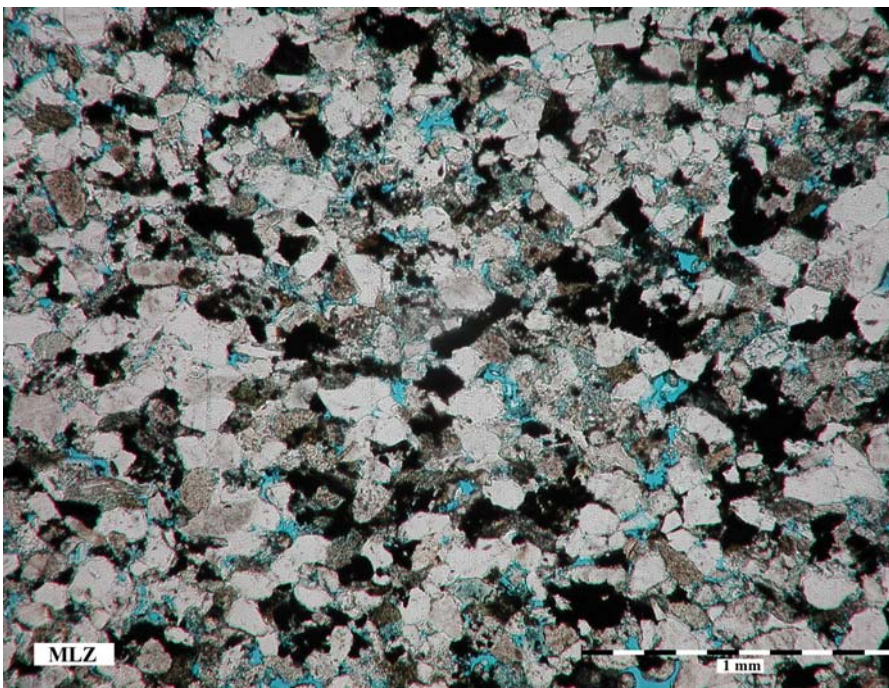
Megaskopischer Überblick		Probe HFN
Herkunft der Probe	Milz-Hindfeld (Neuer Steinbruch) Material aus dem Steinbruch	
Abbauort	Steinbruch zwischen Milz und Hindfeld	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper, Schilfsandstein (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Tonig-ferritisch gebundener, gelbbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbbraun, hellolivgrün, grünbraun, grüngrau	
Detailfarben	schwarz gesprenkelt durch winzige, inkohlte Pflanzenhäcksel rostbraune Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Deutliche Schichtung durch feinere und gröbere Bereiche, längliche Glimmer, längliche Klasten und zusammenhängende braune, tonige Fasern	
Verwitterungsverhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Absanden, Abblättern, Schalenbildung	
Verwendungsbeispiele	im Ortsbild von Römhild, Milz und Hindfeld sehr stark vertreten Römhild: Kirche (15. Jh.) und Schloss Glücksburg (15. Jh.) Hindfeld: Kirche, Torpfosten und Mauern	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1895), HOPPE (1939)	

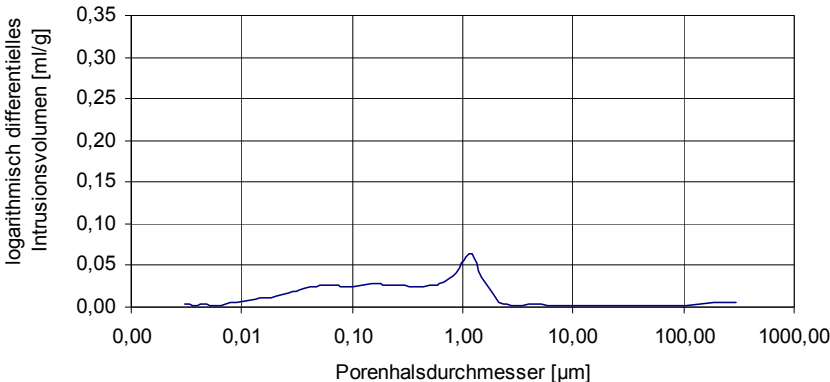


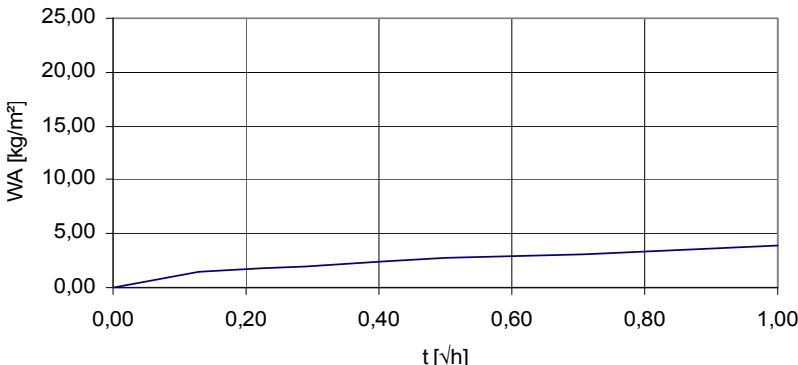
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe HFN
Herkunft der Probe	Milz-Hindfeld (Neuer Steinbruch)	
<div></div>		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: Feldspat weitgehend frisch	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: sehr reichlich kleine Glimmer (0,02x0,06 mm), alterierte, ferritisch durchsetzte Biotite (0,18x0,32 mm)	
	Grünliche Minerale: teilweise vergrünte Biotite	
Bindemittel	<p>Kleine helle, tonig-feinstglimmrige Aggregate (0,06x0,12 bis 0,10x0,20 mm), graubraune bis braune tonige Partikel, ferritische, schwarzbraune bis opake Flasern und Körner in verschiedenen Größen (0,02-0,08 und um 0,10-0,15 mm), z.T. in dünnen Lagen angereichert,</p> <p>in feineren Bereichen punktuell karbonatisches Bindemittel, Anteil viel kleiner als 1 %, kleine Zwickelfüllungen mit netzartigen Verzweigungen zwischen benachbarten Klasten,</p> <p>sekundäre SiO₂-Anlagerungen je nach Korngrößenbereichen unterschiedlich: feinkörnig: wenig SiO₂, grobkörnig: mehr SiO₂</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Feinkörniger Bereich: vorwiegend Klasten mit tonig-glimmrigen Aggregaten und kleinsten alterierten Glimmerschüppchen, wenige Quarz-Kornverbände aus 2 bis 3 Körnern mit geringen Kontakten, Packung relativ eng</p> <p>Gröberer Bereich (rechtes Bild, untere Hälfte): weniger tonig-glimmrige Flasern, stärker porös, viele Kornverbände mit langen direkten Kontakten, reichlich sekundärem SiO₂ (Teilsäume bis 60 % der Korngrenzlinie), dazu braune tonige Partikel und feinstglimmrige Aggregate, mäßig enge Packung</p>	
Sichtbarer Porenraum	<p>Im feineren Bereich: gering- und feinporös: 0,01-0,04 (-0,06 mm)</p> <p>Im gröberen Bereich: mäßig- und grobporös: (0,04) 0,06-0,18 mm, oft unregelmäßig geformt: 0,20x0,32 mm</p>	
Struktur	Korngrößen: 0,04-0,12 und 0,10-0,25	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch, viele unregelmäßig, vieleckig häufig längliche Klasten, mäßige Sortierung	
Textur (Schichtung)	Deutliche Schichtung durch feinere und gröbere Bereiche, längliche Glimmer, längliche Klasten und z.T. zusammenhängende braune, tonige Flasern	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFN	
Herkunft der Probe		Milz-Hindfeld (Neuer Steinbruch)		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,61		
Rohdichte	[g/cm³]	2,06		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79		
Gesamtporosität	[V.-%]	20,99		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	24,66		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,27		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe HFN</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	9,41		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,99		
Sättigungswert	[-]	0,86		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		52,81	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		6,89	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,19		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe HFN</p> 				


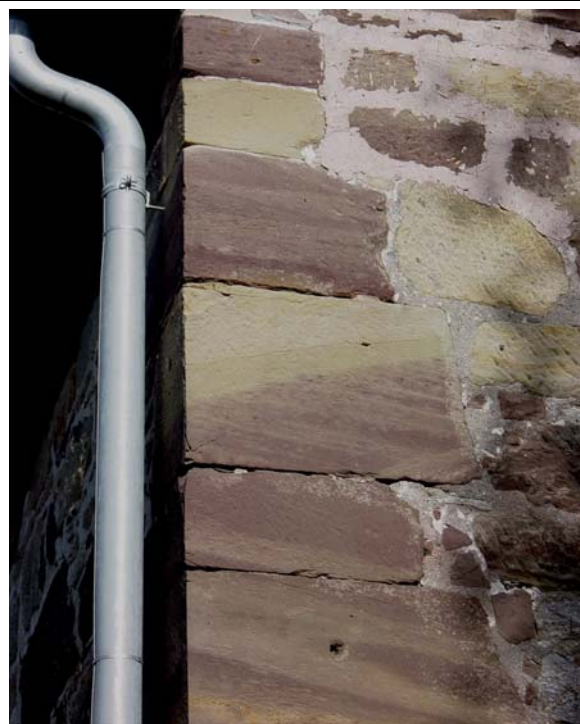
Gesteinstechnische Kennwerte			Probe HFN
Herkunft der Probe		Milz-Hindfeld (Neuer Steinbruch)	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		37,60
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		28,10
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		21,60
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		35,00
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		4,70
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,40
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5495
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3919
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		11119
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,435
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,320

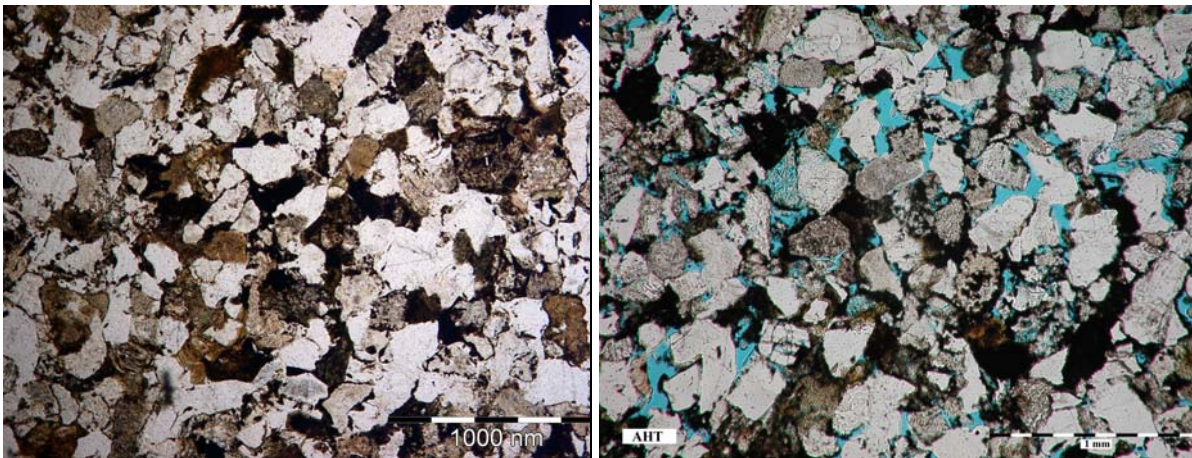
Megaskopischer Überblick		Probe MLZ
Herkunft der Probe	Milz Abbruchmaterial aus der Kirchhofmauer	
Abbauort	Früher mehrere Steinbrüche in der Umgebung von Milz. Jetzt nur noch ein Steinbruch zwischen Milz und Hindfeld, der nicht mehr in Betrieb ist.	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper, Schilfsandstein (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und kieselig gebundener, gelbbrauner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
Abbildung Musterplatte trocken, Oberfläche gesägt		
Gesamtfarbe	gelbbraun	
Detailfarben	teilweise braun geflammt	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	bräunliche Streifen und Flammungen	
Verwitterungsverhalten	<p>Gut witterungsbeständig, anfälliger in durchfeuchteten Bereichen.</p> <p>An mehreren Bauwerken auch noch nach über 500 Jahren Standzeit gut erhalten. Probe MLZ qualitativ besser als der eher grünliche Sandstein HFN aus dem noch vorhandenen Steinbruch zwischen Milz und Hindfeld.</p> <p>Schadbilder: Schalenbildung, Absanden, Abblättern</p>	
Verwendungsbeispiele	<p>Werksteine und Mauerwerk der Kirche (1520) und vieler Gebäude in Milz.</p> <p>Auch in umliegenden Ortschaften im bayerischen Grabfeld (Rappershausen, Rothausen, Hendungen)</p>	
Literaturhinweise	PRÖSCHOLDT (1895), HOPPE (1939)	

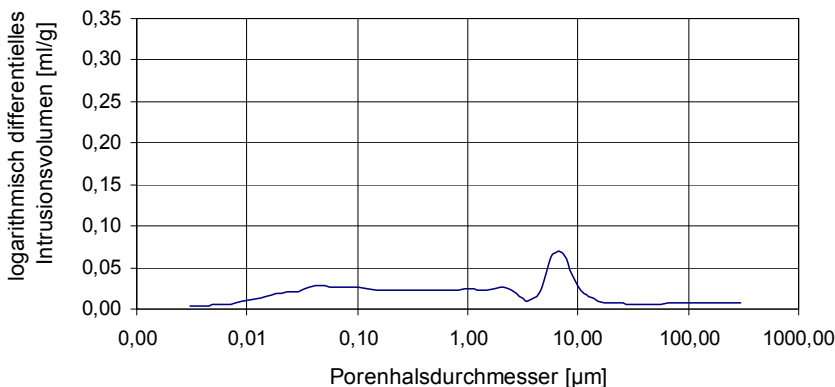


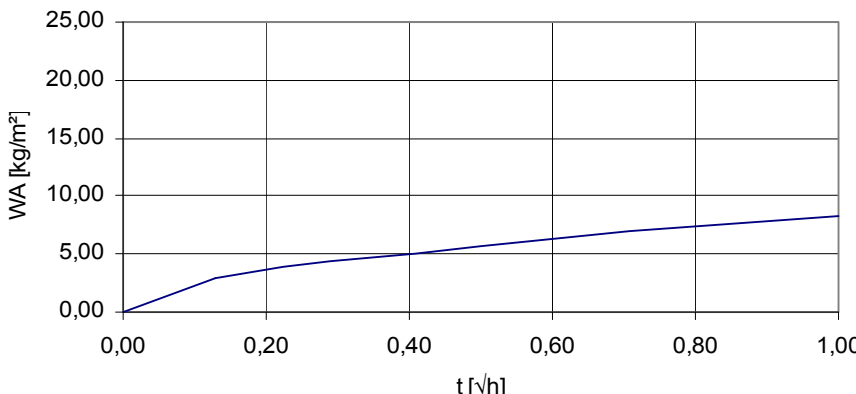
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe MLZ
Herkunft der Probe	Milz	
Abbildung		
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: z.T. frisch, z.T. stark ungewandelt (Neubildungen)	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: lange (um 0,40 bis max. 0,60 mm) und mehrfach kleinste Muskovite, z.T. alteriert, sehr selten gebleichte und leicht vergrünte Biotite, wenige chloritartige Körner	
	Grünliche Minerale: keine	
Bindemittel	ca. 1 % Karbonat, punktiert in kleinen Poren, xenomorph kristallin (0,04-0,07 max. 0,10 mm) weniger als 10 % helle tonige, kleine Aggregate oder Zwickelfüllungen ca. 7-10 % (z.T. bis 15%) dunkelbraune bis opake, stark ferritische Aggregate als Zwickelfüllungen, Flecken und Körnchen sekundäre SiO ₂ -Anlagerung stellenweise häufig, insgesamt gering	
Diagenese (Kornbindung)	Bindung einzelner Klasten hauptsächlich über ferritische Substanzen, dazu häufige und größere Quarzkornverbände mit reichlich sekundärem SiO ₂ (Ausfüllung von Porenräumen, z.T. bis 70 % der Korngrenzlinie in direktem Kontakt), Packung relativ dicht	
Sichtbarer Porenraum	Gering und feinporös: 0,01-0,05 (-0,10 mm)	
Struktur	Korngrößen: (0,04-0,06 mm) / 0,09-0,18 (-0,20 mm)	
	Kornformen: mehr oder weniger isometrisch, reichlich vieleckig, relativ häufig rundlich	
Textur (Schichtung)	gering, angedeutet durch lange Glimmer, ferritische Aggregate und Körner z.T. in Reihen angeordnet	
Sonstiges		








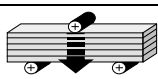
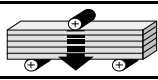
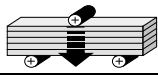
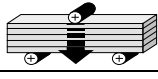
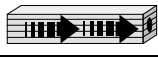


Gesteinstechnische Kennwerte		Probe MLZ	
Herkunft der Probe		Milz	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,71	
Rohdichte	[g/cm³]	2,20	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,81	
Gesamtporosität	[V.-%]	18,73	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	15,15	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	4,01	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe MLZ</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	6,50	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	6,99	
Sättigungswert	[-]	0,93	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		66,24
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		1,74
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	0,73	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe MLZ</p> 			

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe MLZ
Herkunft der Probe		Milz	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		63,30
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		55,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		46,48
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		32,80
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		40,20
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,10
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,20
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8852
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		4366
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		13283
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,150
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,092

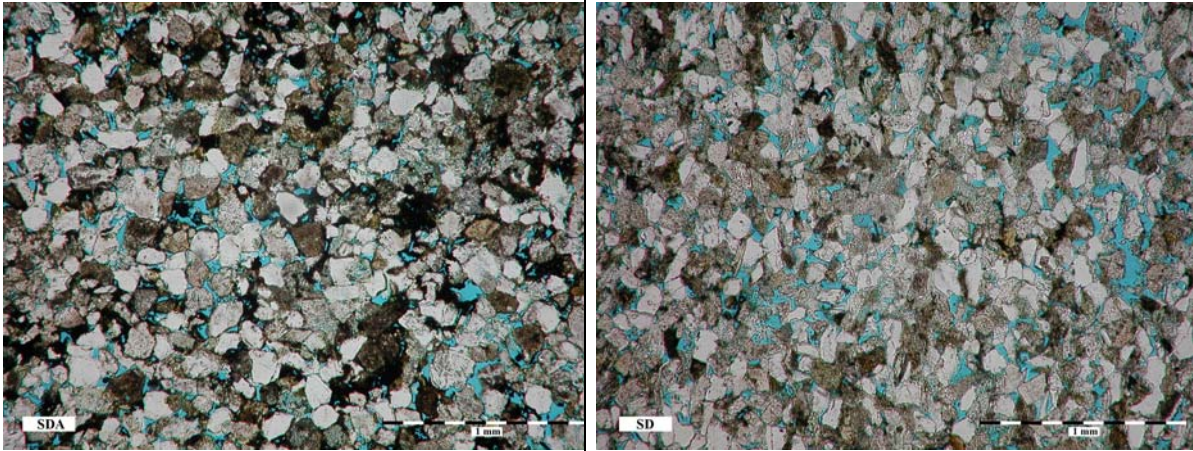
Megaskopischer Überblick		Probe AH
Herkunft der Probe	Adelhausen Abbruchmaterial aus Adelhausen	
Abbauort	Adelhausen	
Geologisches Alter	Keuper, Unterer Keuper (kuS)	
Geologische Kurzbeschreibung	Ferritisch und kieselig gebundener, braunvioletter, auch olivgrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
<div></div> <div></div>		
Abbildungen	Links: Musterplatte, trocken, Oberfläche gesägt Rechts: Eckquader der Kirche Adelhausen mit typischem Farbwechsel	
Gesamtfarbe	braunviolett, grünbraun, aber auch gelbgrün, graugrün	
Detailfarben	Häufig mit rotbraunen oder grünlichen Streifen, z.T.getiegt Stecknadelkopfgroße, rostbraune Fleckenbildungen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	häufig Kreuzschichtung	
Verwitterungsverhalten	Relativ gut witterungsbeständig, jedoch ausgeprägte Schalenbildung an Körperkanten und Profilen möglich. Absandungen, Abblätterungen in feuchtigkeitsbelasteten, langsam austrocknenden Bereichen. An mehreren Bauwerken auch noch nach bis zu 500 Jahren Standzeit gut erhalten.	
Verwendungsbeispiele	Kirche (1484, 1724) und Gebäude (auch Sockel) in Adelhausen, Kirche in Eishausen (1748-94), verschiedene Gebäude in Bad Rodach	
Literaturhinweise	BEYSCHLAG & PRÖSCHOLDT (1888), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), WEISS (1990), PATZELT (1995)	

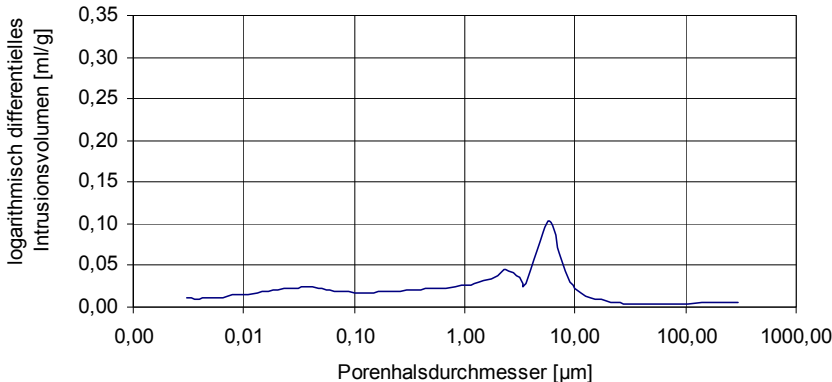


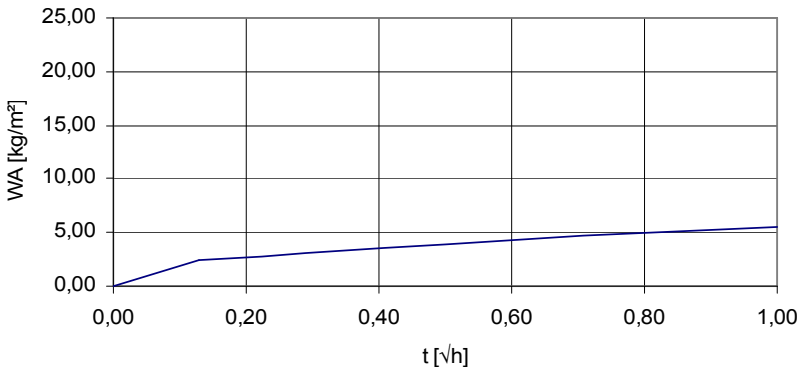
Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe AH
Herkunft der Probe	Adelhausen	
<div></div>		
Abbildungen	links rotbraune Varietät (Porenraum nicht gefärbt), rechts getiegerte Varietät	
Komponenten	Quarz	
	Feldspäte: häufig frisch bzw. mit geringen serizitischen Neubildungen	
	Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: wenige Muskovite, z.T. aufgespalten, wenige alterierte Biotite, z.T. vergrünt, z.T. bräunlich-ferritisch	
	Grünliche Minerale: wenige alterierte Biotite, sehr selten Chlorit	
	Sonstiges: häufig nicht auflösbare braune und bräunlichgraue, ferritisch durchsetzte Körner	
Bindemittel	bis zu 20 % ferritische Substanzen: mittel- bis dunkelbraun, opak wenige helle tonige Substanzen, z.T. ferritisch durchsetzt reichlich sekundäre SiO ₂ -Anlagerung	
Diagenese (Kornbindung)	40 bis 80 % mittelbare Kornbindung durch ferritische Substanz, meist in Form von Zwickelfüllungen, breiten Hüllen, kleinen Porenauskleidungen und feinst pigmentierten Kornoberflächen, in kleinen fleckenartigen Partien ferritischer Basalzement z.T. kleine Kornverbände mit 30-60 % direkter Kornbindung, zusammen mit Feldspäten und anderen silikatischen Klasten eine Art Gerüst bildend, Packung realtiv eng	
Sichtbarer Porenraum	gehr gering: 0,04-0,08 mm getiegerte Varietät: gering, 0,04-0,10 (-0,15 mm), auffallend unregelmäßig geformte Poren	
Struktur	Korngrößen: 0,05-0,06 mm / 0,06-0,10 mm / 0,10-0,30 (-0,38 mm)	
	Kornformen: sehr unregelmäßig, ca. 30 % isometrisch, sonst unregelmäßig länglich und vielkantig	
Textur (Schichtung)	keine bevorzugte Einregelung erkennbar	
Sonstiges	einzelne olivbraune Fossilreste (isotrop), lokal kohlige Partikel angereichert	















Gesteinstechnische Kennwerte			Probe AH	
Herkunft der Probe		Adelhausen		
Gefügekennwerte				
Reindichte	[g/cm³]	2,70		
Rohdichte	[g/cm³]	2,12		
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,79		
Gesamtporosität	[V.-%]	21,48		
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	19,46		
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,25		
<p>Porenvolumenverteilung der Probe AH</p> 				
Hygrische Kennwerte				
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	7,89		
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	9,04		
Sättigungswert	[-]	0,87		
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		58,23	
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		4,46	
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,07		
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe AH</p> 				

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe AH
Herkunft der Probe		Adelhausen	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		45,02
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		44,80
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		33,76
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		30,25
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		27,02
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		25,20
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		37,90
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,90
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,40
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8868
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		3875
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		12167
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,455
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,350

Megaskopischer Überblick		Probe SDA
Herkunft der Probe	Streufdorf Abbruchmaterial von der Kirche	
Abbauort	Streufdorf	
Geologisches Alter	Keuper, Mittlerer Keuper, Schilfsandstein (kmS)	
Geologische Kurzbeschreibung	tonig-ferritisch gebundener, gelbbrauner oder gelbgrüner, feinkörniger Sandstein	
Klassifikation	Feldspatführender Sandstein mit Gesteinsbruchstücken (Sublitharenit)	
		
Abbildungen	links gelbbraune, rechts graugrüne Varietät Musterplatten trocken, Oberfläche gesägt	
Gesamtfarbe	gelbbraun, graubraun, gelbgrün, graugrün	
Detailfarben	Braune, punktförmige Flecken, Streifen	
Struktur	feinsandig, feinporig	
Textur	Schichtung leicht angedeutet durch braune Streifen	
Verwitterungs- erhalten	Bei längerer Feuchtigkeitsbelastung oder an wasserbelasteten Bauteilen mäßig bis schlecht. An weniger feuchtigkeitsbelasteten Bauteilen meist gut. Schadbilder: Schalenbildung, Absanden, Abblättern	
Verwendungs- beispiele	Mauer- und Werksteine, plastische Arbeiten Streufdorf: Wehrkirche (16. Jh., 1706), Schule, viele Gebäude, Burg Stauf Bad Rodach: Kirchen, Gebäude (stadtbildprägend)	
Literaturhinweise	BEYSCHLAG & PRÖSCHOLDT (1888), HOPPE (1939), GRÄBE (1978), WEISS (1990), PATZELT (1995)	

Mikroskopisches Beispiel (Dünnschliffauswertung)		Probe SDA
Herkunft der Probe	Streuendorf	
		
Abbildungen	links gelbbraune, rechts graugrüne Varietät	
Komponenten	Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke	
	Glimmer: Muskovite (bis 0,4 mm), alterierte Biotite (gebleicht und ferritisch durchsetzt), reichlich rundliche und feinstschuppige Aggregate (Tonstein?)	
	Grünliche Minerale: sehr selten Chlorit, vergrünte Biotite	
Bindemittel	<p>Linkes Bild: Helle tonige Substanz in größeren Flecken gehäuft, dunkelbraune und opake ferritische Substanz, oft fleckenhaft (um 0,12 mm), Anteil schwankend 7-20 %, sekundäre SiO₂-Anlagerung nur bei fehlenden tonigen und ferritischen Substanzen, insgesamt gering</p> <p>Rechtes Bild: Vorwiegend helle tonige Aggregate, nur gering ferritisch durchzogen (Bildmitte in horizontaler Ausrichtung), oft feinglimmrige Anreicherungen, Im Vergleich zum linken Bild sehr geringe ferritische Substanz, sekundäre SiO₂-Anlagerung insgesamt gering, aber an den meisten Quarzen vorhanden</p>	
Diagenese (Kornbindung)	<p>Linkes Bild: Kornverbände meist indirekt durch tonige und ferritische Substanz verbunden, zwickelfüllend, von da zwischen Klasten ausstrahlend (0,006-0,06 mm breit), fleckenhaft verteilte, breite Ummantelungen um mehrere Klasten, z.T. dünne Hüllen (bis 80 % der Korngrenzlinie)</p> <p>Rechtes Bild: Ferritische Substanz kaum als Zwickelfüllung (ca. 1-2 % Anteil), dadurch nur fleckenhafte und streifig enge Packung</p> <p>Bei beiden Bildern durch sekundäre SiO₂-Anlagerung nur kurze direkte Kornkontakte, z.T. Ausstülpungen in Zwickel (geringe Porenraum-reduzierung), fast keine Kristallflächen ergänzt, mäßig enge Packung</p>	
Sichtbarer Porenraum	Überwiegend feinporös, relativ reichlich Porenräume (rechtes Bild stark porös), in bindemittelreichen Partien 0,02-0,05 mm in bindemittellarmen Partien um 0,08 mm	
Struktur	Korngrößen: 0,04-0,12 (-0,22 mm)	
	Kornformen: meist isometrisch, sonst unregelmäßig vier- und fünfeckig	
Textur (Schichtung)	<p>Linkes Bild: keine bevorzugte Einregelung erkennbar</p> <p>Rechtes Bild: durch Glimmer deutliche Einregelung in engen Schichtlagen, aber dadurch keine bevorzugte Trennbarkeit ersichtlich</p>	

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SDA
Herkunft der Probe		Streufdorf	
Gefügekennwerte			
Reindichte	[g/cm³]	2,63	
Rohdichte	[g/cm³]	2,06	
Dichtigkeitsgrad	[-]	0,78	
Gesamtporosität	[V.-%]	21,67	
Offene Porosität aus Hg	[V.-%]	21,26	
Spezifische Oberfläche aus Hg	[m²/g]	5,66	
<p>Porenvolumenverteilung der Probe SDA</p> 			
Hygrische Kennwerte			
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	[M.-%]	8,10	
Wasseraufnahme unter Vakuum (150 bar)	[M.-%]	10,59	
Sättigungswert	[-]	0,76	
Wasserdampfdiffusionswiderstand (0-85% r.F.)	[-]		46,82
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m²h¹/²]		3,27
Hygroskopische Wasseraufnahme (25-95% r.F.)	[M.-%]	1,34	
<p>Kapillare Wasseraufnahme der Probe SDA</p> 			

Gesteinstechnische Kennwerte			Probe SDA
Herkunft der Probe		Streuendorf	
Festigkeitskennwerte und Verformungsverhalten			
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		51,48
Druckfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		48,50
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		36,61
Druckfestigkeit, bei 65 % r.F.	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		25,40
Druckfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		n.b.
Druckfestigkeit, nach 20 FTW, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		28,60
Biegezugfestigkeit, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		5,80
Biegezugfestigkeit, wassergesättigt	[N/mm²]		2,20
Statischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		8193
Statischer E-Modul, wassergesättigt	[N/mm²]		2691
Dynamischer E-Modul, bei 20 % r.F.	[N/mm²]		11821
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,380
Hygrische Dehnung (25-95% r.F.)	[mm/m]		0,343

Anhang III

Verwendungsbeispiele und Einbausituationen von Bauteilen aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen im Gebäudebestand

Tabelle A-3-1: Beispiele für die Verwendung von Schilf- und Lettenkeupersandsteinen nördlich des Thüringer Waldes, insbesondere im Thüringer Becken

Tabelle A-3-2: Beispiele für die Verwendung von Schilf- und Lettenkeupersandsteinen südlich des Thüringer Waldes, insbesondere im thüringischen Grabfeld

Tab. A-3-1: Beispiele für die Verwendung von Schilf- und Lettenkeupersandsteinen nördlich des Thüringer Waldes, insbesondere im Thüringer Becken

TK 25	Ort	Objekt	Erbauungszeit	Verwendung als:								
				Verputztes Mauerwerk	Werksteinfassade	Freistehende Mauern	Gesimse/Sohlbänke	Abdeckplatten	Leibung/Eckquaderung	Sockel	Plastisches Bildwerk im Außenraum	Innenraum/Keller
4730	Abtsbessingen	Ev. Kirche	15., 16. Jh.	X					X			
4730	Abtsbessingen	Torhaus	15. Jh.	X					X			
4730	Freienbessingen	Ev. Kirche	17.-19. Jh.	X					X			
4730	Freienbessingen	Scheune	19. Jh.		X				X			
4730	Freienbessingen	Wohnhaus	19. Jh.		X				X			
4730	Freienbessingen	Taubenhaus	19. Jh.		X				X			
4830	Großurleben	Wohnhaus		X						X		X
4830	Großurleben	Kellerhäuser							X	X		X
4830	Bad Tennstedt	Wohnhaus	17. Jh.?	X								
4830	Bad Tennstedt	Hospitalkirche	16. Jh.	X					X			
4830	Kleinvargula	Ev. Kirche und Einfriedung	18. Jh.	X		X		X	X			
4831	Kutzleben	Torhäuser	18. Jh.				X		X			
4831	Kleinballhausen	Ev. Kirche	15. Jh.	X			X		X		X	
4831	Großballhausen	Ev. Kirche	16. Jh.	X					X			
4831	Großballhausen	Einfriedungen										
4831	Großballhausen	Scheune		X	X				X			
4832	Straußfurt	Ev. Kirche	15., 16. Jh.	X					X		X	
4832	Straußfurt	Scheune			X					X		
4833	Vogelsberg	Torhaus	19. Jh.?		X				X			
4833	Vogelsberg	Wohnhaus	15. Jh.?	X								
4833	Backleben	Torhaus		X		X						
4834	Teutleben	Scheune			X				X			
4834	Teutleben	Einfriedung mit Torhaus			X	X			X			
4834	Teutleben	Mühle			X							
4834	Buttstädt	Rathaus	16. Jh.	X							X	
4834	Buttstädt	Scheunen		X	X	X						
4927	Creuzburg	Barockgarten	18. Jh.								X	
4927	Krauthausen	Ev. Kirche	18. Jh.	X					X			
4928	Bischofroda	Ev. Kirche	14., 17. Jh.	X					X			
4928	Bischofroda	Schloss	18. Jh.	X	X				X	X	X	
4928	Bischofroda	Wohnhaus		X					X	X		
4928	Bischofroda	Wohnhaus		X						X		
4928	Lauterbach	Einfriedung				X						
4929	Illeben	Ev. Kirche	16. Jh.	X					X			
4931	Herbsleben	Schloss	16. Jh.	X					X			X
4931	Herbsleben	Schlossbrücke	16. Jh.	X			X	X	X			
4931	Herbsleben	Ev. Kirche	15., 19. Jh.	X			X		X			
4931	Dachwig	Scheunen			X							
4931	Dachwig	Einfriedungen				X						
4931	Witterda	Wohnhaus		X								
4933	Markvippach	Scheune			X				X			
4933	Markvippach	Wohnhaus		X					X			
4933	Schlossvippach	Ev. Kirche	15. Jh.	X					X			

Tab. A-3-1(Fortsetzung): Beispiele für die Verwendung von Schilf- und Lettenkeupersandsteinen nördlich des Thüringer Waldes, insbesondere im Thüringer Becken

TK 25	Ort	Objekt	Erbauungszeit	Verwendung als:								
				Verputztes Mauerwerk	Werksteinfassade	Freistehende Mauern	Gesimse/Sohlbänke	Abdeckplatten	Leibung/Eckquaderung	Sockel	Plastisches Bildwerk im Außenraum	Innenraum/Keller
4933	Vippachedelhausen	Ev. Kirche	15., 17. Jh.	X			X		X			
4933	Vippachedelhausen	Wohnhaus		X								
5030	Gotha	Schloss Friedenstein	17. Jh.	X	X				X			X
5030	Gotha	Margaretenkirche	15., 16. Jh.	X								
5030	Gotha	Einfriedungen, Mauern	17., 19. Jh.			X		X				
5030	Gotha	Bürgerhäuser am Hauptmarkt	16. Jh.	X			X		X		X	X
5030	Gotha	Waidspeicher Gretengasse	16. Jh.	X					X			
5030	Gotha	Rathaus	16. Jh.	X								X
5030	Gotha	Mykeniushaus	17. Jh.	X					X			
5030	Gotha	Augustinerkloster	14., 17. Jh.	X			X					X
5031	Ingersleben	Brücke						X				
5031	Ingersleben	Ev. Kirche und Einfriedung	16. Jh.	X		X			X			
5031	Ingersleben	Toreinfahrten					X		X			
5031	Neudietendorf	Gebäude	19. Jh.?	X						X		
5031	Neudietendorf	Herrenhuter Friedhof	18. Jh.			X						
5031	Neudietendorf	Einfriedung mit Toreinfahrt				X	X	X	X			
5032	Erfurt	Alte Synagoge	13., 14. Jh.	X			X		X			
5032	Erfurt	Krämerbrücke	14. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Ursulinenkloster	14. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Häuser in der Futterstraße	16. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Häuser in der Marktstraße	16. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Häuser in der Michaelisstraße	16. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Ehemaliges Großes Hospital	14. Jh.	X		X						X
5032	Erfurt	Naturkundemuseum	16. Jh.	X								X
5032	Erfurt	Haus zur Steinecke, Horngasse	14. Jh.	X								X
5032	Hochstedt	Wohnhäuser		X						X		X
5032	Mönchenholzhausen	Torhaus	18. Jh.		X				X			
5032	Mönchenholzhausen	Scheune	19. Jh.?		X				X			
5032	Rockhausen	Ev. Kirche	15. Jh.?	X			X		X			
5032	Rockhausen	Einfriedung Friedhof				X						
5032	Rockhausen	Wohnhaus		X								
5033	Hopfgarten	Pfarrhaus mit Torhaus	16. Jh.	X	X				X		X	
5033	Hopfgarten	Wohnhaus		X	X				X			
5033	Hopfgarten	Backhaus		X	X							
5034	Magdala	Ev. Kirche	14. Jh.	X								
5131	Eisleben	Wohnhaus	16. Jh.	X	X				X			
5131	Eisleben	Toreinfahrt und Mauer	16. Jh.					X	X		X	
5132	Elxleben	Scheune			X							
5132	Elxleben	Wohnhaus	ca. 16. Jh.	X							X	
5132	Elxleben	Toreinfahrt und Mauer	ca. 16. Jh.			X			X			
5132	Kirchheim	Torhaus	16. Jh.?	X	X				X			
5132	Kirchheim	Wohnhaus		X					X			X
193 Objekte (bezogen auf Bauteile)				60 Objekte	22 Objekte	13 Objekte	11 Objekte	6 Objekte	47 Objekte	8 Objekte	9 Objekte	17 Objekte
100 %				31 %	11 %	7 %	6 %	3 %	24 %	4 %	5 %	9 %

Tab. A-3-2: Beispiele für die Verwendung von Schilf- und Lettenkeupersandsteinen südlich des Thüringer Waldes, insbesondere im thüringischen Grabfeld

TK 25	Ort	Objekt	Erbauungszeit	Verwendung als:								
				Verputztes Mauerwerk	Werksteinfassade	Freistehende Mauern	Gesimse/Sohlbänke	Abdeckplatten/Treppenstufen	Leibung/Eckquaderung	Sockel	Plastisches Bildwerk im Außenraum	Innenraum/Keller
5429	Marisfeld	Ev. Kirche und Schloss	15., 17. Jh.	X			X	X	X		X	
5430	Schleusingen	Grablege der Henneberger	16. Jh.								X	
5528	Schwickershausen	Ev. Kirche	17., 18. Jh.	X			X		X		X	
5528	Schwickershausen	Schloss	16. Jh.	X		X	X	X	X		X	X
5528	Bibra	Burg	15., 17. Jh.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5528	Bibra	Neues Schloss	16. Jh.	X			X	X	X	X	X	X
5528	Bibra	Ev. Kirche	17. Jh.	X			X	X	X	X	X	X
5528	Wolfmannshausen	Kreuzwegstationen	18. Jh.								X	
5528	Westenfeld	Ev. Kirche	16. Jh.	X	X		X	X	X		X	
5529	Zeilfeld	Wohnhäuser		X	X					X		
5529	Zeilfeld	Ev. Kirche	18. Jh.	X			X		X	X		
5529	Zeilfeld	Friedhofsmauer				X		X				
5628	Mönchshof	Ehemaliger Klosterhof	19. Jh.		X		X	X	X	X		
5628	Mönchshof	Stallungen	19. Jh.	X	X				X	X		
5628	Mendhausen	Ev. Kirche	19. Jh.	X	X		X	X	X		X	
5629	Bedheim	Schloss	16. Jh.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5629	Bedheim	Ev. Kirche	17. Jh.	X	X	X	X	X	X	X		
5629	Bedheim	Scheunen, Stallungen		X	X		X	X	X	X	X	
5629	Bedheim	Einfriedung mit Torpfeilern	16. Jh.?			X		X	X	X	X	
5629	Bedheim	Gasthaus	19. Jh.	X	X		X	X	X	X	X	
5629	Gleicherwiesen	Ev. Kirche	19. Jh.	X	X		X	X	X	X	X	
5629	Hindfeld	Ev. Kirche		X			X		X	X		
5629	Hindfeld	Einfriedung mit Torpfeilern	18. Jh.?			X	X	X		X		
5629	Hindfeld	Scheunen und Stallungen		X	X		X		X	X		
5629	Linden	Ev. Kirche	18., 19. Jh.	X	X		X	X	X	X	X	
5629	Linden	Wohnhäuser		X				X		X		
5629	Milz	Ev. Kirche	16. Jh.	X	X		X	X	X		X	X
5629	Milz	Wehranlage der Kirche	16. Jh.		X	X		X				
5629	Milz	Gebäude		X	X		X	X	X	X	X	X
5629	Römhild	Ev. Kirche	15. Jh.	X	X		X	X	X		X	X
5629	Römhild	Schloss	15., 16. Jh.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5629	Römhild	Wohnhäuser		X				X		X		
5629	Römhild	Gebäude	19. Jh.		X		X		X	X		
5629	Roth	Ev. Kirche	17., 18. Jh.	X			X	X	X	X		
5629	Roth	Wohnhäuser		X		X		X		X		
5629	Simmershausen	Ev. Kirche	16.?, 19. Jh.	X	X	X	X	X	X	X	X	
5629	Simmershausen	Wohnhäuser		X						X		
5630	Streufdorf	Ev. Kirche	16., 18. Jh.	X	X	X	X	X	X	X	X	
5630	Streufdorf	Wohnhäuser	19. Jh.		X		X		X	X		
5630	Streufdorf	Scheunen			X				X	X		
5630	Adelhausen	Ev. Kirche	15. Jh.	X			X		X	X	X	
5630	Eishausen	Ev. Kirche	18. Jh.	X	X		X		X		X	X
5730	Heldburg	Herren- und Frauenerker	16. Jh.		X						X	
228 Objekte (bezogen auf Bauteile)				34 Objekte	26 Objekte	12 Objekte	31 Objekte	28 Objekte	33 Objekte	30 Objekte	24 Objekte	10 Objekte
100 %				15 %	11 %	5 %	14 %	12 %	14 %	13 %	10 %	4 %

Anhang IV

Auswertung von Konservierungsmaßnahmen an ausgewählten Denkmälern aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in Thüringen

Übersicht über Konservierungsmaßnahmen an Denkmälern aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in Thüringen	IV-2
IV.1 Erfurt, Horngasse 3	IV-3 bis IV-5
IV.2 Erfurt, Krämerbrücke 19, Gewölbekeller	IV-6 bis IV-7
IV.3 Creuzburg, Barockgarten, Putto „Flötenspieler“	IV-8 bis IV-11
IV.4 Veste Heldburg, Herrenerker	IV-12 bis IV-13
IV.5 Erfurt, Turniergasse 18, Gewölbekeller	IV-14 bis IV-20
IV.6 Eisenach, Hauptbahnhof	IV-21 bis IV-24

Hinweise zu den Nachuntersuchungen

Für die Nachuntersuchungen der Konservierungsmaßnahmen kamen überwiegend visuelle und akustische Prüfverfahren zur Anwendung, um die Objekte nicht zu beschädigen.

Wo es möglich war, wurde das Bohrhärteprofil mit Hilfe der Bohrwiderstandsmessung ermittelt. Die Bohrwiderstandsmessungen erfolgten überwiegend an entnommenen Bohrkernen, da die Ermittlung des Bohrwiderstandes vor Ort aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen oft nicht möglich bzw. nicht auswertbar war. Als Bohrgerät wurde das Gerät der Fa. DURABO verwendet. Aus der während der Bohrung erstellten Bohrdiagrammkurve, bei der der Papiervorschub in Abhängigkeit von der Bohrtiefe dargestellt wird, wurde die Bohrhärte als das Reziproke der ersten Ableitung der Bohrkurve ermittelt (WENDLER & SATTLER 1996, PFEFFERKORN 1998).

In der folgenden Tabelle sind Objekte verzeichnet, an denen Konservierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Nachuntersuchungen erfolgten an repräsentativen Beispielen, die in der Tabelle farbig hinterlegt sind und nachfolgend näher dargestellt werden.

Tab. A-4-1: Konservierungsmaßnahmen an Objekten aus Lettenkeuper- und Schilfsandsteinen in Thüringen (die markierten Objekte werden im Anhang ausführlich vorgestellt)

PLZ	Ort	Objekt	Jahr der Restaurierung	Herkunft des Sandsteins (Qualitätsgruppe)	Verwendete Steinfestiger (Wirkstoffgehalt bzw. Gelabscheidungsrate)	Wirkstoff	Sonstige Maßnahmen	Quelle
98631	Wolfmannshausen	Kreuzweg, Stationen I und VI	1985/86	Grabfeld (I)	Badtränkung als Basisfestigung mit Paraloid B72 (8 %) Partielle Nachfestigung mit EGK-19 (8 bis 10%)	PMMA EP	Schalenkabung mit EP-Harz (EGK-19) Steinergänzungen mit EP-Mörteln	SCHEIDEMANN (1985)
99084	Erfurt	Horngasse 3/4	1985/86	Erfurt, UKR (II) UKG (III)	Festigung mit KSE NT 40 aus Nünchritz (30 % Gelabscheidung)	KSE	Steinergänzungen mit Acrylmörteln Schalenkabung mit EP-Harz (EGK-19)	STAEMMLER (1985)
99831	Creuzburg	Barockgarten, Putto "Herbst"	1988	Raum Creuzburg ?	Badtränkung als Basisfestigung mit Paraloid B72 (5 %) Partielle Nachfestigung mit EGK-19 (10 bis 20 %)	PMMA EP	Steinergänzungen mit Acrylmörteln Schalenkabung mit EP-Harz (EGK-19) Hydrophobierung mit NS 5800	SCHEIDEMANN (1989)
99831	Creuzburg	Barockgarten, Putto "Flötenspieler"	1990	Raum Creuzburg ?	Badtränkung als Basisfestigung mit Paraloid B72 (5 %) Partielle Nachfestigung mit A17- 01 (10 bis 50 %)	PMMA EP	Steinergänzungen mit Acrylmörteln Schalenkabung mit EP-Harz (A17-01)	BANKERT (1990)
98631	Wolfmannshausen	Kreuzweg, Stationen X und XIII	1990/92	Grabfeld (I)	Badtränkung als Basisfestigung mit Paraloid B72 (5 %) Part. Nachfestigung mit EGK-19 bzw. Epilox® T19-20 (10-40%)	PMMA EP	Schalenkabung mit EP-Harz Steinergänzungen Acrylmörteln	RÖHL (1990) RICHTER (1992)
98663	Heldburg	Veste Heldburg, Herrenerker, Musterfläche	1992	Grabfeld (I)	Basisfestigung mit KSE Wacker OH (10 %) Aufbauende Festigung mit Syton W 30 (10 %)	KSE Kieselso	Schalenhinterfüllung mit Kieselso- Mörteln	STAEMMLER & SCHEIDEMANN (1995)
					Basisfestigung mit Wacker OH (10 %) Aufbauende Festigung mit Epilox® T19-32 (10 bis 50 %)	KSE EP	Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32) Steinergänzungen mit Acrylmörteln	
					Basisfestigung mit Epilox® T19-32 (10 %) Aufbauende Festigung mit Epilox® T19-32 (10 bis 50 %)	EP EP	Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32) Steinergänzungen mit Acrylmörteln	
99084	Erfurt	Keller, Krämerbrücke 19	1995	Erfurt, UKG (III)	Flutende Festigung mit Funcosil® OH (15 %)	KSE	Steinergänzungen mit Acrylmörteln	HOPP (1995)
99084	Erfurt	Keller, Turniergasse Musterflächen	1995	Erfurt, UKG (III)	Flutende Festigung mit Funcosil® OH (15 und 30 %) Flutende Festigung mit Epilox® T19-20 (5 und 10 %)	KSE EP	z.T. vor der Festigung Behandlung mit Quellminderer Funcosil Antihygro	PATZELT (1996)
99831	Creuzburg	Barockgarten, Putto "Tänzerin mit Mantel"	1998	Raum Creuzburg ?	Badtränkung als Basisfestigung mit Paraloid B72 (5 %) Partielle Nachfestigung mit Epilox® T19-32 (10 %)	PMMA EP	Steinergänzungen mit Acrylmörteln Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32)	BERGMANN (1998)
99817	Eisenach	Hauptbahnhof	1998	kein thüringischer Keupersandstein (II)	Vorfestigung mit verdünntem Funcosil® 300 (15 %), z.T. auch mit verdünntem elastifiziertem Funcosil® 300 E Nachfestigung mit Funcosil 300® unverdünnt (30 %)	KSE	Quellminderung mit Funcosil Antihygro Schalenanböschungen mit elasti- fizierten KSE-Mörteln (Funcosil 500 E) Steinergänzungen mit min. Mörteln Schlämmen von Abschuppungen mit KSE-gebundenen Schlämmen	OCHSENFARTH (1998)
98663	Heldburg	Veste Heldburg, Frauenerker	1999-2001	Grabfeld (I)	Basisfestigung mit KSE Keim-Silex-OH 100 (10 %) Aufbauende Festigung mit Epilox® T19-32 u.T19-35 (10-30 %)	KSE EP	Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32) Steinergänzungen mit Acrylmörteln	SCHEIDEMANN (2000)
99955	Großballhausen	Kirche St. Vitus	2000	Kleinballhausen	Flutende Festigung mit Funcosil® 300 (30 %) Partielle Nachfestigung mit Epilox® T19-32 (10 %ig)	KSE EP	Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32) Steinergänzungen mit Acrylmörteln	SCHIECKE (2000)
98553	Schleusingen	Ägidienkapelle, Gedenktafel „Wolfgang“	2001	Hindfeld, HFA (II)	Badtränkung mit Motema-Steinfestiger 20 (20 %)	KSE	Steinergänzungen mit Acrylmörteln	HAUCH (2001)
98553	Schleusingen	Ägidienkapelle, Epitaphe Graf Wilhelm IV und Anastasia	2005	Hindfeld, HFA (II)	Festigung mit verdünntem Funcosil® 300 (20 %) Partielle Nachfestigung mit Epilox® T19-32 (10 %)	KSE EP	Schalenkabung mit EP-Harz (T19-32) Steinergänzungen mit Acrylmörteln	NÜTHEN (2005)

IV.1 Erfurt, Horngasse 3

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

Das Gebäude Horngasse Nr. 3 in Erfurt ist ein massives Steingebäude aus dem 13. Jahrhundert. Seine Außenmauern bestehen, bis auf das Sockelmauerwerk, aus olivgrünen und rotbraunen Lettenkeuper- bzw. Schilfsandsteinen (*Abbildung IV-1*).

Die Sandsteine entsprechen in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften den Proben UKG (für die grüne Varietät) bzw. UKR (für die rotbraune Varietät).

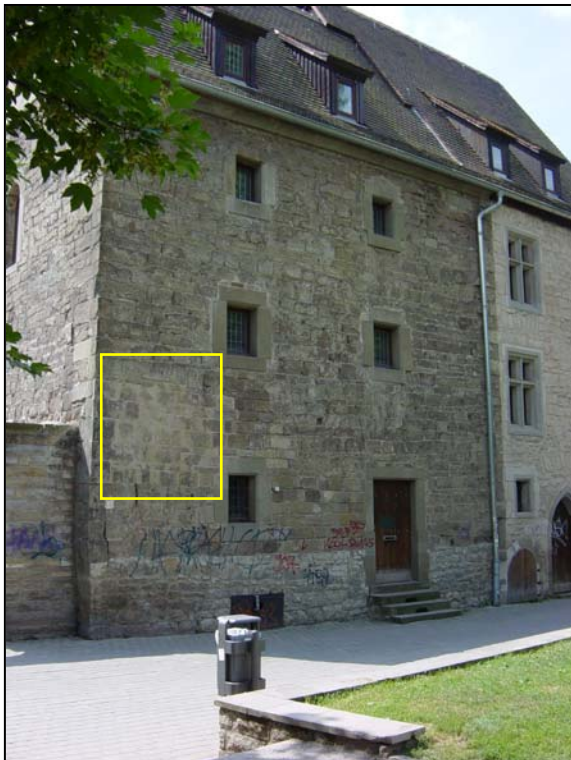


Abb. IV-1: Erfurt, Horngasse 3, Nordfassade (Musterfläche markiert)



Abb. IV-2: oben: Musterfläche mit Steiner-gänzungen, unten: unbehandelte Fläche

Schadbilder und Belastungssituation vor der Konservierung:

Da die Konservierung nur einen Teilbereich der Nordfassade betraf, lassen sich die ursprünglichen Schadbilder noch sehr gut nachvollziehen. Es handelt sich dabei meist um Schalenbildungen, aber auch um Abblätterungen und Absandungen (*Abbildung IV-2*).

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen:

Im Sommer 1985 wurden geschädigte Sandsteinbereiche der Nordfassade einer Musterkonservierung unterzogen. Es fand eine Festigung mit Kieselsäureester (Äthylsilikat NT 40 aus Nünchritz) mit einer Gelabscheidungsrate von ca. 30 % mittels einer Niederdruckspritze statt. Im Anschluss wurden an Schalenbildungen vereinzelt aufbauende Festigungen und Klebungen mit Epoxidharz EGK 19 (Harzgehalte von 10 bis 50 %) durchgeführt. 1986 erfolgten in einer 2. Konservierungsphase Schalenanböschungen und Steiner-gänzungen mit Acryldispersionsmörteln (*vgl. Abbildung IV-2*).

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Im Rahmen früherer Untersuchungen (SEIFERT 1998) erfolgte bereits eine Beurteilung der Restauriermörtelergänzungen und Schalenanböschungen. In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb 2005 - nach 20 Jahren Standzeit - in erster Linie eine Bewertung der Steinfestigung vorgenommen (Tabelle A-4-2).

Tab. A-4-2: Durchgeführte Untersuchungen an der Horngasse 3 in Erfurt

Untersuchungsverfahren	Aussage
Visuelle Einschätzung	<ul style="list-style-type: none"> - keine Glanzbildung, keine Farbtonvertiefung - keine sichtbaren Absandungen oder Schadbilder, die auf ein Versagen des Festigers hindeuten
Klang beim Anschlagen	<ul style="list-style-type: none"> - vereinzelt Klangveränderungen, die auf Schalenbildung hindeuten
Tast-Gefühl, Abrieb	<ul style="list-style-type: none"> - feste Oberfläche, kein Abrieb auf Flächen - leichter Abrieb, Absandungen an Ecken und Kanten
Ritzhärte	<ul style="list-style-type: none"> - Fingernagel: keine Wirkung, Schraubenzieher: Oberfläche fest, Herauslösen einzelner Körner
Wasseraufnahme durch Benetzen	<ul style="list-style-type: none"> - Oberfläche insgesamt nicht hydrophob - in einzelnen Poren vereinzelt stehendes Wasser

Die Bohrwiderstandsmessung an einem gefestigten Sandstein der Musterfläche ergab das in Diagramm IV-1 dargestellte Bohrhärteprofil. Es wird deutlich, dass es in einer Tiefe von ca. 10 mm zu einer Verringerung und anschließend bei 14 bis 24 mm zu einem Anstieg der Festigkeit kommt, bevor sie auf das Niveau des ungefestigten Sandsteins abfällt.

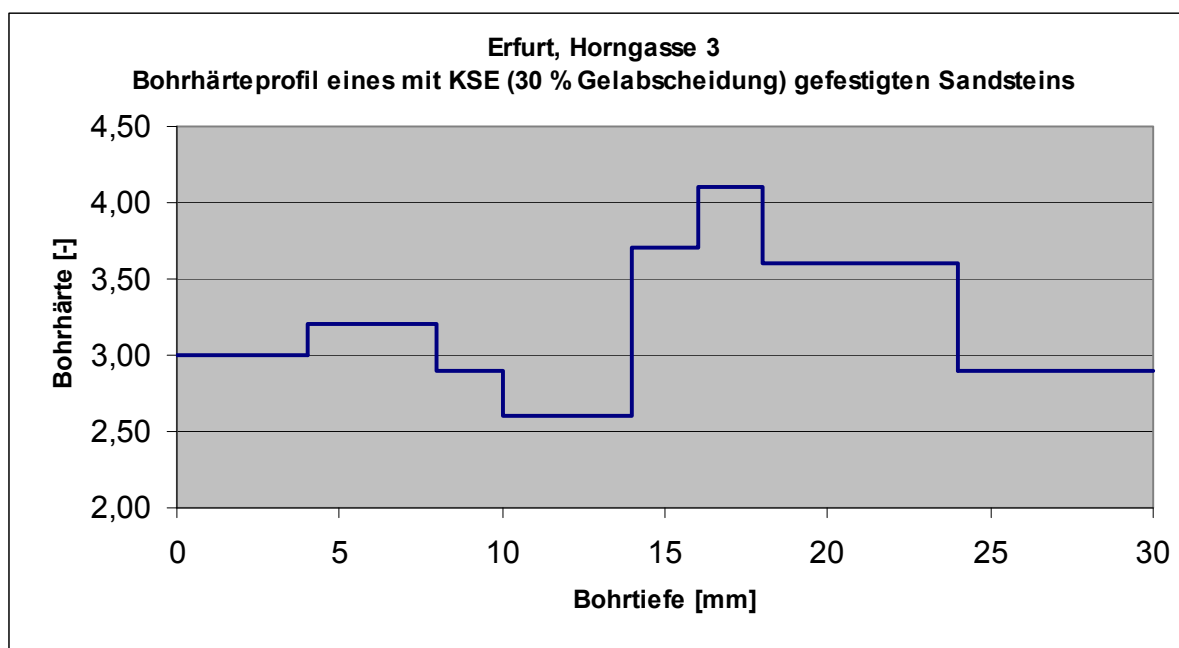


Diagramm IV-1: Bohrhärteprofil eines Bohrkerns der Horngasse 3 in Erfurt

Bei der tiefenabhängigen Untersuchung der Porosität kann der umgekehrte Effekt beobachtet werden. Es kommt zu einer allmählichen Verringerung der Porosität, die an der Bohrkernscheibe aus dem Bereich von 16 bis 24 mm Tiefe ihren geringsten Wert erreicht und anschließend auf das Niveau des ungefestigten Sandsteins wieder ansteigt (*Diagramm IV-2*).

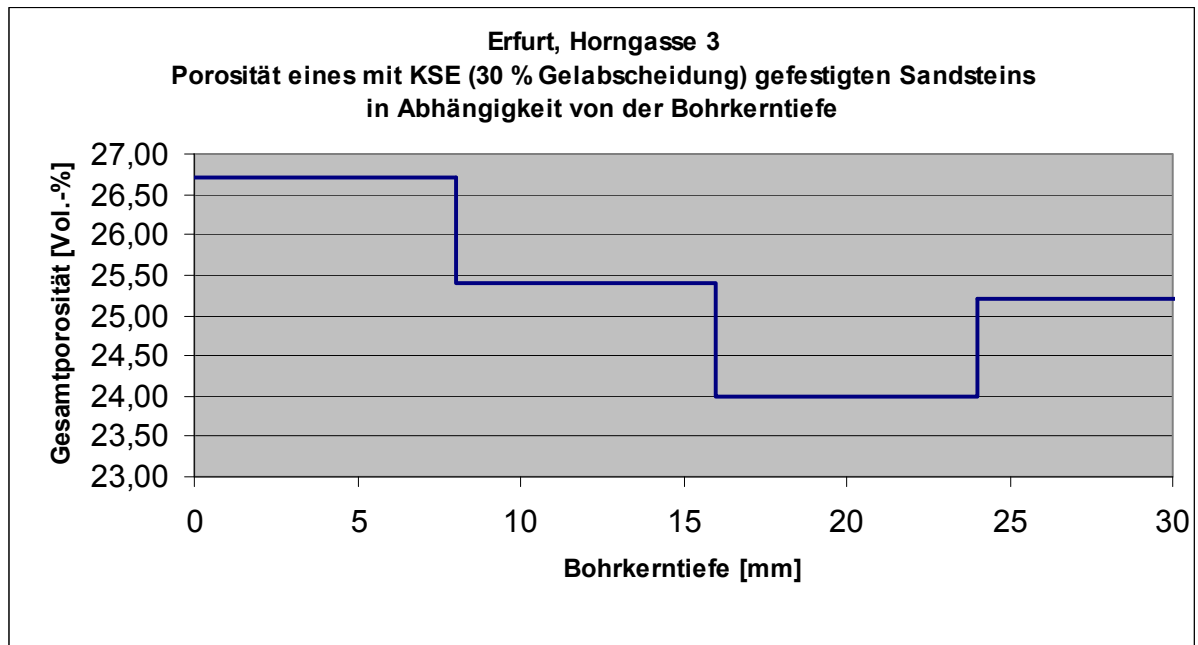


Diagramm IV-2: Tiefenabhängige Gesamtporosität eines Bohrkerns der Horngasse 3

Der Zustand der Musterfläche an der Nordfassade der Horngasse 3 in Erfurt ist als bedingt gut zu beschreiben. Teilweise treten Absandungen an Ecken und Kanten der gefestigten Steinquader auf. Die Randbereiche zu den Stenergänzungsmörteln oder Schalenanböschungen sanden jedoch nicht ab und sind auch nicht im Vergleich zu diesen zurückgewittert. Die Oberflächen von Abblätterungen sind in sich noch fest, zerbrechen jedoch bei Druckeinwirkung mit dem Daumen. Schalenanböschungen und Antragungen mit Restauriermörteln sind teilweise nicht mehr intakt. Das Bohrhärteprofil und die Porositätsuntersuchungen zeigen, dass der Steinfestiger bis in eine Tiefe von ca. 25 mm eingedrungen ist. Dies ist nicht linear erfolgt, sondern es kommt zu einer Festigkeitserhöhung in einer Tiefe zwischen 15 und 25 mm. Danach wird die Festigkeit fast sofort deutlich geringer. Die Festigungsmaßnahme kann deshalb nur als bedingt erfolgreich angesehen werden.

IV.2 Erfurt, Krämerbrücke 19, Gewölbekeller

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

Der Gewölbekeller besteht im aufgehenden Mauerwerk aus Kalksteinen, in den Gewölbekappen, Pfeilern und Türgewänden aus Sandsteinen, die in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften den Proben UKG (für die grüne Varietät) bzw. UKR (für die rotbraune Varietät) entsprechen.

Schadbilder und Belastungssituation vor der Sanierung:

Das Mauerwerk war mit einem grobkörnigen Kalkschlämputz versehen, der im Bereich der Sandsteine fast völlig abgefallen war. Das Sandsteingefüge war bis in eine Tiefe von ca. 5 cm zerstört und sandete stark ab. Besonders ausgeprägt waren die Schäden oberhalb der unisolierten Heizungsrohre, wo sich die genannten Schadbilder rinnenförmig andeuteten. Die Sandsteine waren stark salzbelastet (Sulfate, Nitrate und Chloride).

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen:

Der Keller wurde 1994 saniert. Dabei wurde der gesamte Schlämputz entfernt und die Verfugung komplett erneuert (*Abbildung IV-3*). Die Steinoberflächen wurden mittels Pulverstrahlverfahren trocken gereinigt, sämtliche Abblätterungen und Absandungen wurden entfernt. Es erfolgte eine Festigung der Sandsteine mit KSE Funcosil® Steinfestiger OH, verdünnt 1:1 mit Testbenzin (15 % Gelabscheidungsrate).

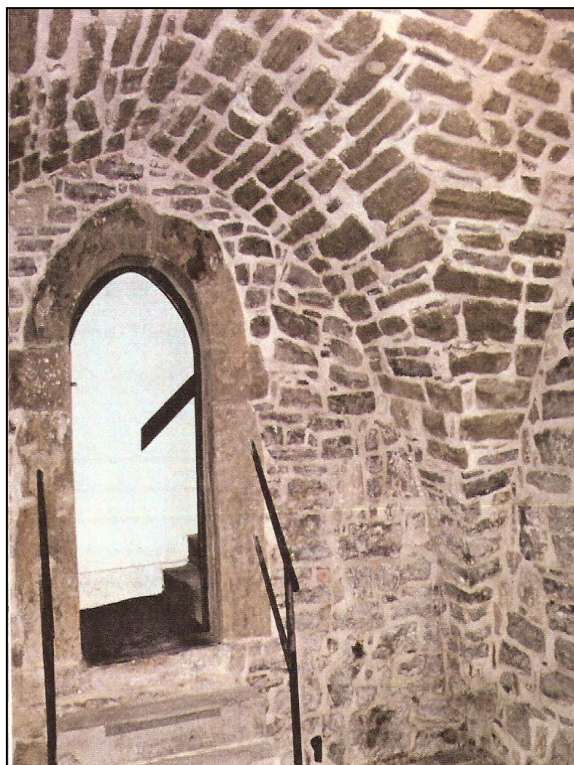


Abb. IV-3: Zustand des Gewölbekellers Krämerbrücke 19 nach der Sanierung 1994



Abb. IV-4: Absandender, rückgewitterter Sandstein neben intakten Steinerergänzungen

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Unmittelbar nach der Sanierung konnte das Absanden der Sandsteine gestoppt werden. Doch etwa ein Jahr nach der Behandlung stellten sich erneut Schäden ein, die mehr dem Schadbild Abbröckeln und Schalenbildung entsprachen. Das Ausmaß der Rückwitterung wurde im Vergleich zu den Steinerergänzungen an den Türgewänden deutlich (*Abbildung IV-4*). Schließlich musste die gesamte Gewölbeoberfläche verputzt werden, da eine Nutzung des Kellers als Musikalienhandlung unter diesen Umständen nicht mehr möglich war. Das Scheitern der Festigungsmaßnahmen könnte auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- es hat eine Überfestigung stattgefunden
- die Eindringtiefe war zu gering, um bis zum annähernd unverwitterten Gesteinskern vorzudringen und damit ein ausgeglichenes Festigkeitsprofil zu bilden
- die hohe Salzbelastung wirkte sich negativ auf die Festigung aus

Leider war eine Klärung dieser Fragen aufgrund des 1995 aufgetragenen Putzes, der immer noch intakt ist, nicht möglich.

IV.3 Creuzburg, Barockgarten, Putto „Flötenspieler“

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

Der Barockgarten der Creuzburg wurde im 18. Jahrhunderts errichtet und beinhaltet u.a. eine sog. „Vierjahreszeitengruppe“ und weitere Plastiken. Die Sandsteine des plastischen Figurenbestandes bestehen aus einem grünbraunen Keupersandstein, der aus der Gegend um Creuzburg / Mihla, Südthüringen oder Franken stammen könnte (KLAUA 1990).

Die Figurengruppen wurden seit 1989 restauriert, so auch der Putto „Flötenspieler“, der 1990 im Rahmen einer Diplomarbeit bearbeitet wurde (BANKERT 1990).



Abb. IV-5: „Flötenspieler“ - Vorderseite



Abb. IV-6: „Flötenspieler“ - Rückansicht

Das Bildwerk besteht aus Skulptur und Postament, beide sind jeweils aus einem Stück gearbeitet und durch eine Mörtelfuge miteinander verbunden (Abbildungen IV-5 und IV-6). Der Sandstein wurde auf Spalt (senkrecht zur Schichtung) verarbeitet.

Die Plastik steht frei und wird allseitig bewittert. Im Winter erfolgt eine luftdurchlässige Einhausung. Das Postament ist nach unten gegen Feuchtigkeit gesperrt.

Schadbilder und Belastungssituation vor der Konservierung:

Das Bildwerk wies starke Schädigungen durch die Einwirkung von Feuchtigkeit auf. So kam es in Bereichen aufsteigender Feuchte - ehemals ungesperrter Sockel, Postament - und in Bereichen von oben eindringender Feuchte – alle simsartig ausgebildeten Formen – zu starken Formverlusten in Form von Absandungen, Abblätterungen, Abschalungen und Ausbrüchen. Mangelnde Pflege des Bildwerkes und des Umfeldes, insbesondere die früher fehlende Wintereinhausung, bewirkten eine starke Durchfeuchtung, gerade im Winterhalbjahr. Dazu kamen willkürliche Beschädigungen, wie der Abbruch des Kopfes und der Verlust von Teilen der Hände, der Kleidung und des Musikinstrumentes.

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen:

1989/90 wurden Skulptur und Basis in der Werkstatt restauriert. Ziel der Maßnahmen waren Reinigung und Konservierung der gesamten Steinsubstanz, sowie Ergänzung fehlender Teile.

Nach einer trockenen Reinigung fand zunächst eine mehrwöchige Badtränkung mit 5 %igem Acrylharz (Paraloid B 72 gelöst in Toluol und Aceton) statt. Dabei wurde festgestellt, dass der Festiger in intakten Bereichen nur ca. 6 mm tief in den Stein eingedrungen ist. In geschädigten - absandenden oder abblätternden - Bereichen lag die Eindringtiefe höher (bis 30 mm).

An Schalenbildungen erfolgte im Anschluss eine Festigung bzw. Klebung mit Epoxidharzlösungen mit einer Konzentration von 10 bis 50 % (Epoxidharz A17-01 in einem Lösemittelgemisch aus 40 % Aceton und 60 % Toluol).

Nach konservatorischen Ergänzungen, Schalenanböschungen und Formergänzungen mit Acryldispersionsmörteln erfolgte eine abschließende Fixierung der gesamten Oberfläche mit einer 3 %igen Paraloid-Lösung. Anschließend wurde eine lasierende Retusche mit einem pigmentierten Kasein-Acrylatdispersions-Gemisch vorgenommen

Die Maßnahmen wurden detailliert kartiert, so dass eine gute Auswertung möglich war.

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Ende 2004, also nach ca. 15 Jahren Standzeit erfolgte im Rahmen dieser Arbeit eine Objektbegehung mit Untersuchung des Bildwerkes „Flötenspieler“. Aufgrund der kulturhistorischen Bedeutung und des überwiegend guten Zustandes wurde kein die Substanz zerstörendes Prüfverfahren für die Bewertung der Skulptur eingesetzt (*Tabelle A-4-3*). Lediglich an der Rückseite des Postamentes erfolgte die Prüfung des Bohrwiderstandes an zwei Messpunkten.

Tab. A-4-3: Durchgeführte Untersuchungen am „Flötenspieler“ des Barockgartens

Untersuchungsverfahren	Aussage
Visuelle Einschätzung	<ul style="list-style-type: none"> - Kleinteilige Abwitterung der Retusche an besonders niederschlagsbelasteten Partien (vgl. Tafel VI-1) - an der Skulptur keine sichtbaren Absandungen oder Schadbilder, die auf ein Versagen des Festigers hindeuten - kein sichtbares Versagen der Klebungen und Schalenanböschungen - ein großer Ausbruch an einer Ergänzung (vgl. Tafel VI-1), der auf mechanische Zerstörung beim Aufsetzen der Wintereinhausung zurückzuführen ist - flache Abplatzungen der Steinerergänzungen an der Rückseite des (vgl. Tafel VI-1). In den dann freigelegten inselartigen Bereichen sandet der Stein ab.
Klang beim Anschlagen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Klangveränderungen, die auf Schalenbildung, Hohlstellen oder Gefügezermürbungen hindeuten
Tast-Gefühl, Abrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Skulptur: feste Oberfläche, kein Abrieb auf Flächen - Postament: leichter Abrieb, Absandungen an der Rückseite
Ritzhärte	<ul style="list-style-type: none"> - Fingernagel: keine Wirkung
Wasseraufnahme durch Benetzen	<ul style="list-style-type: none"> - Oberfläche leicht hydrophob - in einzelnen Poren vereinzelt stehendes Wasser
Bohrwiderstandsmessung am Postament	<ul style="list-style-type: none"> - Es konnte kein verwertbares Bohrhärteprofil erstellt werden, da die Rahmenbedingungen für die Fixierung des Bohrgerätes nicht gegeben waren. Dadurch entstanden unrealistische Sprünge in der Bohrkurve. - Die Entnahme eines Bohrkerns für weitere Untersuchungen war auf Grund der Wertigkeit des Objektes nicht möglich.

Der Zustand des Putto kann, bis auf die willkürlich verursachte Fehlstelle an einer Ergänzung, als gut bezeichnet werden. Teilweise kommt es an besonders stark berechneten Stellen zum Verlust der Retusche, ohne dass die darunter liegende Steinsubstanz weiter geschädigt wird.

An der Rückseite des Postamentes kommt es zu zahlreichen flachen Abplatzungen der Steinerergänzungen. Dieser Bereich war jedoch im Vorfeld als besonders salzbelastet beschrieben worden, so dass die Ursache für das Versagen der Ergänzungen wohl eher hier zu suchen ist. Die durch die Abplatzungen freigelegten inselartigen Bereiche sanden ab.

Die Tiefenwirksamkeit des Steinfestigers konnte nicht bewertet werden, jedoch ist in Anbetracht der überwiegend intakten Anbindungen zwischen Ergänzungsmörtel und Stein und der guten Ergebnisse bei der Perkussionsprobe davon auszugehen, dass die Festigung funktioniert.

Insgesamt gesehen haben die Horizontalsperre gegen Feuchtigkeit, die Lasur der Oberfläche und die seit Wiederaufstellung der Skulptur konsequent vorgenommene Wintereinhausung mit Sicherheit einen großen Beitrag zum guten Erhaltungszustand geleistet. Trotzdem sind jetzt, nach 15 Jahren, zumindest Reinigungsarbeiten, die Ausbesserung der Ergänzungen und eine Erneuerung der Lasur erforderlich!



a: Abwittern der Retusche an Knie und Ornament
Schäden am Fugenmörtel



b: Großer Ausbruch an einer Steinerrgänzung
Abwittern der Retusche an der Schulter



c: Abplatzen der dünnsschichtigen Steinerrgänzungen, Absanden der inselartig freigelegten Bereiche

Tafel IV-1: Creuzburg, Putto „Flötenspieler“, Schadbilder

IV.4 Veste Heldburg, Herrenerker

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

An der Hofseite des „Französischen Baus“ der Veste Heldburg befinden sich zwei nach Ornamentik und den darunter liegenden Räumen als Frauen- und Herrenerker bezeichnete Standerker aus dem 16. Jahrhundert mit reichem, von Trophäen und Rollwerk umgebenen, figürlichen Reliefschmuck (*Abbildung IV-7*).



Abb. IV-7: Veste Heldburg, Frauen- und Herrenerker

Die Sandsteine des plastischen Bildschmucks bestehen aus einem grüngrauen bis grünbraunen Lettenkeuper- oder Schilfsandstein. Als Herkunftsgebiet kommen laut KLAUA (1992) die fränkischen Vorkommen infrage, die für hochwertige Qualitäten bekannt waren. Die südthüringischen Vorkommen schließt er für die Erker eher aus.

Beide Erker wurden 1997/1998 bzw. 1999/2001 im Rahmen aufwendiger Restaurierungskampagnen steinkonservatorisch bearbeitet. Stellvertretend sollen an dieser Stelle die Maßnahmen am Herrenerker bewertet werden.

Schadbilder und Belastungssituation vor der Konservierung:

Die Sandsteine des plastischen Bildschmucks waren sehr stark durch Abschalungen (z.T. sich mehrfach untereinander ablösend) und Salzbelastung, verbunden mit Absandungen geschädigt.

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen an einer Probeachse:

Vor der eigentlichen Restaurierung wurde 1992 am Herrenerker der Veste Heldburg eine Probeachse angelegt, um Restaurierungstechnologien und -materialien zu testen (STAEMMLER & SCHEIDEMANN 1995). Dabei kamen die in *Tabelle A-4-4* genannten Verfahren zur Anwendung.

Tab. A-4-4: Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen an der Probefläche des Herrenerkes

Bereich A	Bereich B	Bereich C
Basisfestigung		
von Absandungen und Abblätterungen mit KSE Wacker-OH (10 % Gelabscheidungsrate) durch Fluten nass in nass	von Absandungen und Abblätterungen mit KSE Wacker-OH (10 % Gelabscheidungsrate) durch Fluten nass in nass	von Absandungen und Abblätterungen mit 10 % iger EP-Harz-Lösung (Epilox T 19-32) durch Fluten nass in nass
Aufbauende Festigung		
von Abblätterungen, Abschalungen und Rissen bis zu einer Kluftbreite von 1 mm durch partielles Einbohren von Injektionslöchern und Spritzeninjektion mit kolloidalen Kieselsäure (Syton W 30) in verschiedenen Konzentrationen	von Abblätterungen, Abschalungen und Rissen bis zu einer Kluftbreite von 2,5 mm durch direkte Spritzeninjektion mit EP-Harzen (Epilox T 19-32) in Konzentrationen von 10 bis 50 % .	von Abblätterungen, Abschalungen und Rissen bis zu einer Kluftbreite von 2,5 mm durch direkte Spritzeninjektion mit EP-Harzen (Epilox T 19-32) in Konzentrationen von 10 bis 50 % .
Hinterfüllung von Schalen		
durch partielles Einbohren von Injektionslöchern und Spritzeninjektion von Mörteln aus verdünnter kolloidalen Kieselsäure (Syton W 30) und mineralischen Füllstoffen, Anteil entsprechend der erforderlichen Viskosität	Hinterfüllen von Schalen über 2,5 mm Kluftbreite mittels Lanzettenauftrag von Mörteln aus Acrylharzdispersion (Skopacryl D340) und mineralischen Füllstoffen, Anteil entsprechend der erforderlichen Viskosität	Hinterfüllen von Schalen über 2,5 mm Kluftbreite mittels Lanzettenauftrag von Mörteln aus Acrylharzdispersion (Skopacryl D340) und mineralischen Füllstoffen, Anteil entsprechend der erforderlichen Viskosität
Anböschchen von Schalen		
mittels Lanzettenauftrag mit Mörteln aus verdünnter kolloidalen Kieselsäure (Syton W 30) und mineralischen Füllstoffen	mittels Lanzettenauftrag mit Mörteln aus Acrylharzdispersion (Skopacryl D340) und mineralischen Füllstoffen	mittels Lanzettenauftrag mit Mörteln aus Acrylharzdispersion (Skopacryl D340) und mineralischen Füllstoffen

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen an der Probefläche:

In einer unmittelbar nach der Ausführung und nach 3 Jahren erfolgten Bewertung der Konservierungsmaßnahmen wurde festgestellt, dass die Konservierung mit kolloidalen Kieselsäure (Bereich A) für den am Erker verwendeten Sandstein nicht geeignet ist. Die mit KSE- und Kunstharz-Technologien (Bereich B) und die mit Kunstharz-Technologien (Bereich C) behandelten Sandsteine zeigten deutlich bessere Ergebnisse (STAEMMLER & SCHEIDEMANN 1995).

Im Einzelnen stellten sich die Ergebnisse folgendermaßen dar:

Bewertung des Bereichs A

- Probleme bei der Applikation der kolloidalen Kieselsäure
- Verfärbungen der Oberflächen durch Einbringen des Festigers (Intensivierung des Farbtons bzw. Vergrauung der Oberflächen)
- Braun- bis Schwarzfärbung im Bereich der Festigung mit kolloidaler Kieselsäure nach längerer Standzeit
- Nachlassender Festigungsgrad nach längerer Standzeit
- Braun- bis Schwarzfärbung der KSE-Mörtel nach längerer Standzeit
- Abkreiden des Mörtels und Ablösung vom Untergrund

Bewertung der Bereiche B und C

- Die Applikation der Kieselsäureester und der EP-Harz-Lösungen ist auch in Bereichen starker Schädigung durchführbar.
- Es kommt zu einer Intensivierung des Farbtons aber nicht zu Verfärbungen.
- Der Festigungserfolg ist auch nach längerer Standzeit noch gut und unverändert.
- Der Ergänzungsmörtel ist im Wesentlichen unverändert, lediglich im Bereich einer abgelösten Schale treten Haarrisse auf.

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen am Herrenerker:

Der Herrenerker wurde von März 1997 bis zum September 1998 restauriert. Die Steinoberflächen wurden mittels Mikrostahlreinigung von aufgelagerten Krusten und biologischem Bewuchs befreit. Anschließend erfolgte eine Entsalzung mittels Entsalzungskompressen über 6 bis 8 Zyklen.

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Probeachse erfolgte die Festigung in Form einer Basisfestigung mit verdünntem Kieselsäureester (10 % Gelabscheidungsrate) und einer aufbauenden Festigung in 4 bis 8 Tränkezyklen mittels EP-Harz-Lösung (Epilox T 19-32 mit 10 bis 30 % Harzanteil in Toluol und Aceton gelöst).

Abbrüche und Klüfte wurden punktuell mit EP-Harz T 19-32, 100 % plus Quarzmehl und Viskasit, Stellmittel der Fa. Remmers geklebt und überbrückt. Bei Bedarf erfolgte eine zusätzliche Sicherung mit Glasfieber- oder V4A-Stahlnadeln.

Anschließend erfolgten konservatorische Ergänzungen, Schalenanböschungen und Formergänzungen mit Acryldispersionsmörteln mit einer Stammlösung von ca. 30 % Feststoffanteil.

Die Maßnahmen wurden detailliert kartiert, so dass eine gute Auswertung möglich war.

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Im September 2008, also nach 10 Jahren Standzeit erfolgte im Rahmen dieser Arbeit eine Objektbegehung mit Untersuchung des Herrenerkers. Aufgrund der kulturhistorischen Bedeutung konnten keine substanzzerstörenden Prüfverfahren für die Bewertung eingesetzt werden (Tabelle A-4-5).

Tab. A-4-5: Durchgeführte Untersuchungen am Herrenerker der Heldburg

Untersuchungsverfahren	Aussage
Visuelle Einschätzung	- Guter Gesamteindruck - Vereinzelt Salzausblühungen und Algenbefall
Klang beim Anschlagen	- Hohlstellen konnten nicht detektiert werden
Tast-Gefühl, Abrieb	- Stein noch fest, auch in Bereichen mit Salzausblühungen
Ritzhärte	- Fingernagel: keine Wirkung
Wasseraufnahme durch Benetzen	- Oberfläche leicht hydrophob - in einzelnen Poren vereinzelt stehendes Wasser
Bohrwiderstandsmessung	- wurde nicht vorgenommen - Die Entnahme eines Bohrkerns für weitere Untersuchungen war auf Grund der Wertigkeit des Objektes nicht möglich.

Der Zustand beider Erker ist nach 10 Jahren Standzeit noch als überwiegend gut zu bezeichnen (Abbildung IV-9). Der Stein ist selbst in Bereichen, in denen Salzausblühungen zu beobachten waren noch fest. Die vorgenommen Schalenanböschungen und Steineränzungen scheinen noch stabil zu sein. Allerdings ist gegenwärtig ein Zustand erreicht, in dem Wartungsmaßnahmen einsetzen müssen. Die Salzausblühungen müssten durch Kompressen entfernt und der Algenbefall beseitigt werden. Die Wasserführung an den Erkerflanken muss verbessert werden, da sie die Ursache für den biogenen Bewuchs ist.



Abb. IV-9: Detail des Herrenerkers im Jahr 2008: Beginnende Vergrünung an der Flanke, weiße Salzscheier am unteren Relief

IV.5 Erfurt, Turniergasse 18, Gewölbekeller

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

Im Gewölbekeller der Turniergasse 18 in Erfurt wurden 1995/96 verschiedene Musterflächen zur Festigung der dort verbauten Sandsteine angelegt (*Abbildung IV-10*). Die Sandsteine entsprechen in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften der Probe UKG (Qualitätsgruppe II).



Abb. IV-10: Erfurt, Turniergasse 18, Kellergewölbe, Musterflächen

Schadbilder und Belastungssituation vor der Konservierung:

Die Sandsteine waren ursprünglich verputzt und erst kurz vor der Konservierung freigelegt und mittels Feinsandstrahlverfahren gereinigt worden. In Bereichen, die von aufsteigender Feuchte betroffen waren, wurden Schäden durch Abblätterungen, Absandungen und Schadsalze in Form von Nitraten und Chloriden festgestellt. Einzelne Steine schalten schichtenparallel auf. Aufgrund der Reinigung sandete die Oberfläche der Steine zum Zeitpunkt der Konservierung nicht ab, die oberflächennahen Bereiche waren aber trotzdem in ihrer Festigkeit gemindert, wie die Haftzugfestigkeitsuntersuchungen belegten (*Diagramm IV-7*). Der bereits lange Zeit ungenutzte Keller unterlag keinen Luftfeuchtigkeits- oder Temperaturschwankungen und auch keiner Emissionsbelastung.

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen:

Im Sommer 1995 wurden an vier jeweils 1 m² großen Musterflächen Steinfestiger mehrfach flutend bis zur Sättigung eingebracht. Dabei handelte es sich um:

- Funcosil® Steinfestiger OH der Fa. REMMERS (KSE mit 30 % Gelabscheidungsrate)
- Funcosil® Steinfestiger OH, verdünnt 1:1 mit Testbenzin (15 % Gelabscheidungsrate)
- Epoxidharz Epilox® T19-20, verdünnt auf 10 % Harzanteil in Aceton/Toluol
- Epoxidharz Epilox® T19-20, verdünnt auf 5 % Harzanteil in Aceton/Toluol

Außerdem wurden 2 weitere Flächen mit Quellminderern behandelt, die jedoch an dieser Stelle nicht bewertet werden, da sie sich bereits bei den ersten Nachuntersuchungen nicht bewährt haben.

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Im Rahmen einer 1. Untersuchung (PATZELT 1996) erfolgte bereits 4 Wochen nach der Festigung eine Beurteilung der Maßnahmen. Dabei wurde festgestellt, dass alle Festiger zu einer Erhöhung der Steinfestigkeit geführt haben, dass sich jedoch in bestimmten Tiefen, außer beim verdünnten Kieselsäureester (mit 15 % Gelabscheidungsrate), deutliche Festigkeitssprünge abzeichnen. Weiterhin wurden Schimmelbildungen auf den mit Kieselsäureestern behandelten Flächen beobachtet.

Die im Rahmen dieser Arbeit in einem Abstand von 10 Jahren vorgenommenen Nachuntersuchungen ergaben folgende Ergebnisse (Tabelle A-4-6):

Tab. A-4-6: Durchgeführte Untersuchungen an den Sandsteinen der Turniorgasse 18, Erfurt

Untersuchungsverfahren	Aussage			
	KSE 30 % Gelabscheidung	KSE 15 % Gelabscheidung	EP 10 %ig Harzanteil	EP 5 %ig Harzanteil
Visuelle Einschätzung	<ul style="list-style-type: none"> - keine Glanzbildung, keine Farbtonvertiefung - keine Schimmelbildung - keine sichtbaren Absandungen oder Schadbilder, die auf ein Versagen des Festigers hindeuten 			
Klang beim Anschlagen	- hell, festes Gefüge, keine Schalenbildungen			
Tast-Gefühl, Abrieb	- feste Oberfläche, kein Abrieb			
Ritzhärte	<ul style="list-style-type: none"> - Fingernagel: keine Wirkung - Schraubenzieher: hart, Oberfläche fest 			
Wasseraufnahme durch Benetzen	- Oberfläche insgesamt nicht hydrophob			
Wasseraufnahme nach KARSTEN	- Bestimmung mit Karstenschem Prüfröhrchen nicht möglich, da die Sandsteine, bedingt durch die Gewölbegeometrie nur in Winkeln deutlich größer als 90° zugänglich waren.			
Bohrwiderstandsmessung an Bohrkernen	- Bohrhärtemaximum bei: 17 bis 27 mm ausgeglichenes Festigkeitsprofil 0 bis 5 mm 0 bis 5 mm			
Tiefenabhängige Porosität (von Bohrkernscheiben)	- Porositätsminimum bei: 17 bis 27 mm ausgeglichenes Porositätsprofil 0 bis 5 mm 0 bis 5 mm			
Haftzugfestigkeit	- siehe Diagramm VI-7			

Die Bohrwiderstandsmessung an den gefestigten Sandsteinen der Musterflächen werden in den *Diagrammen IV-3 und IV-4* in Form von Bohrhärteprofilen dargestellt. Es werden Unterschiede zwischen den mit Kieselsäureestern und den mit Epoxidharzen gefestigten Sandsteinen deutlich.

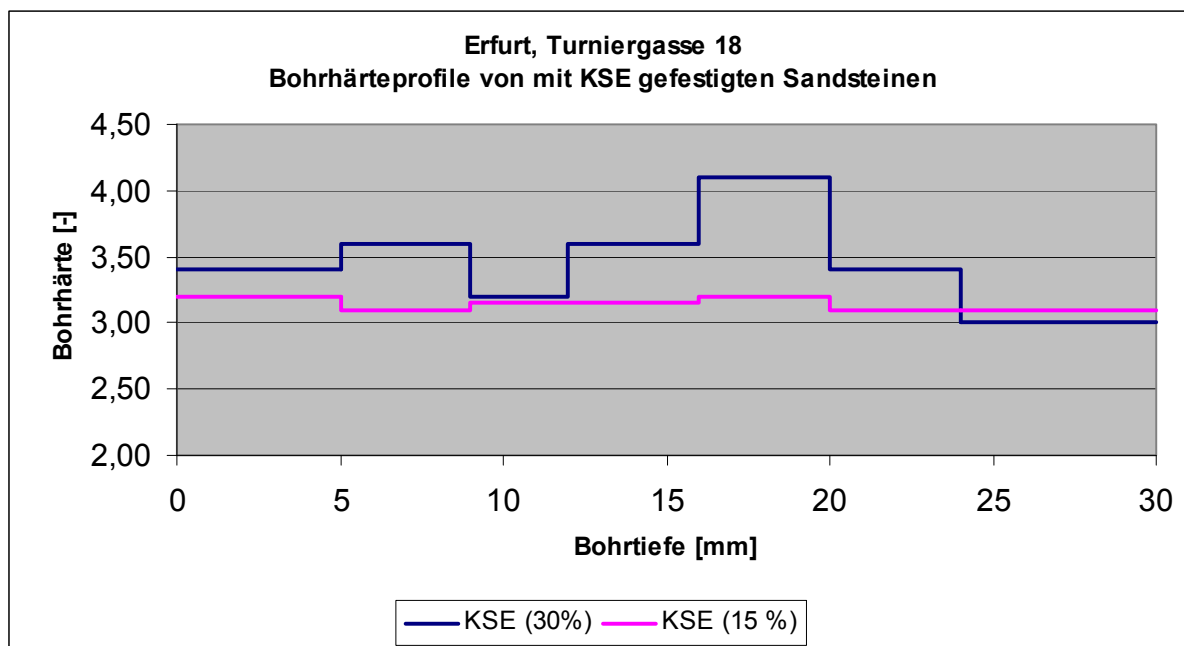


Diagramm IV-3: Bohrhärteprofile von mit KSE gefestigten Sandsteinen der Turniorgasse 18 in Erfurt

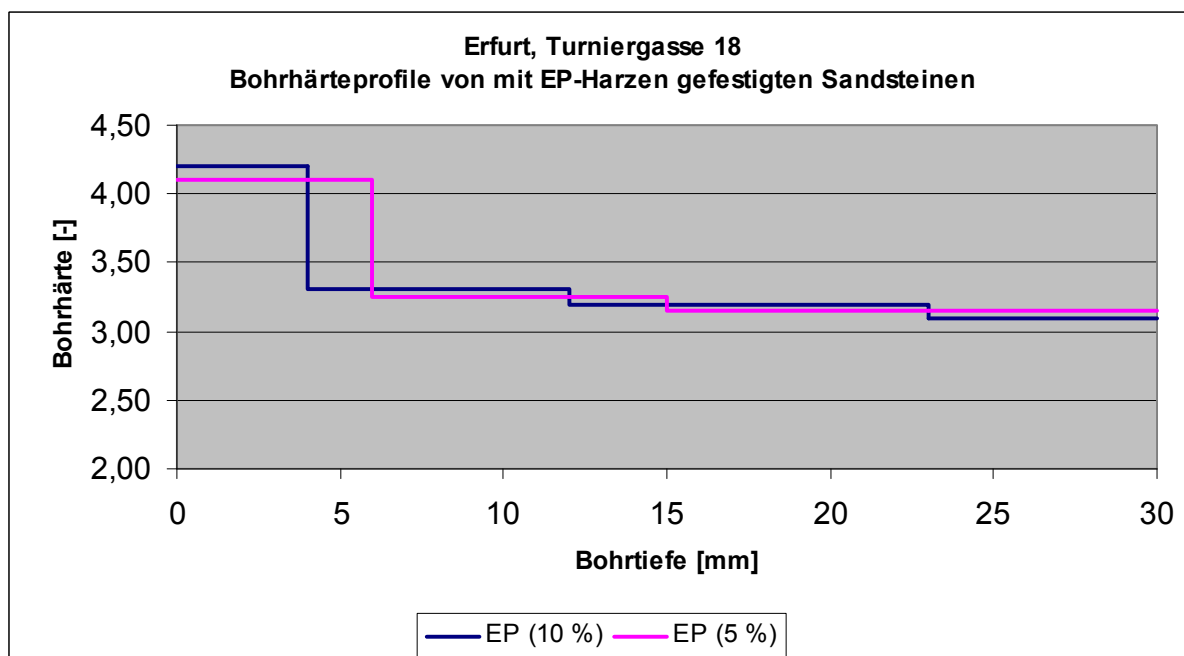


Diagramm IV-4: Bohrhärteprofile von mit EP-Harz gefestigten Sandsteinen der Turniorgasse 18 in Erfurt

Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Porositätsuntersuchungen an den Steinscheiben wider (Diagramme IV-5 und IV-6).

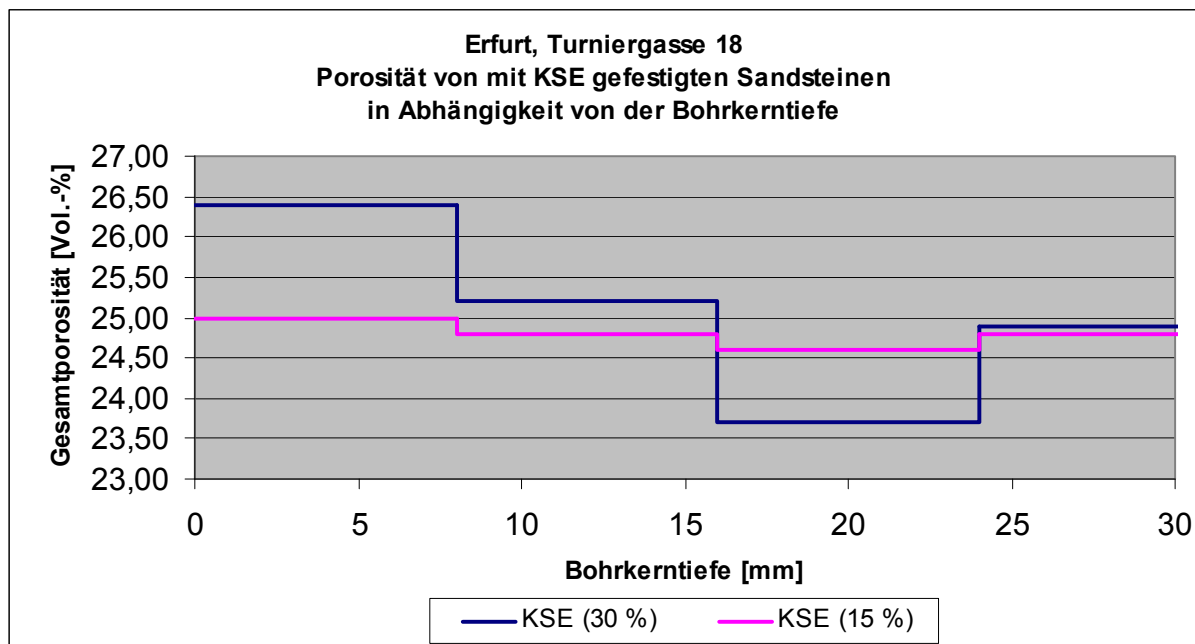


Diagramm IV-5: Porositätsprofile von mit KSE-gefestigten Sandsteinen der Turniorgasse 18 in Erfurt

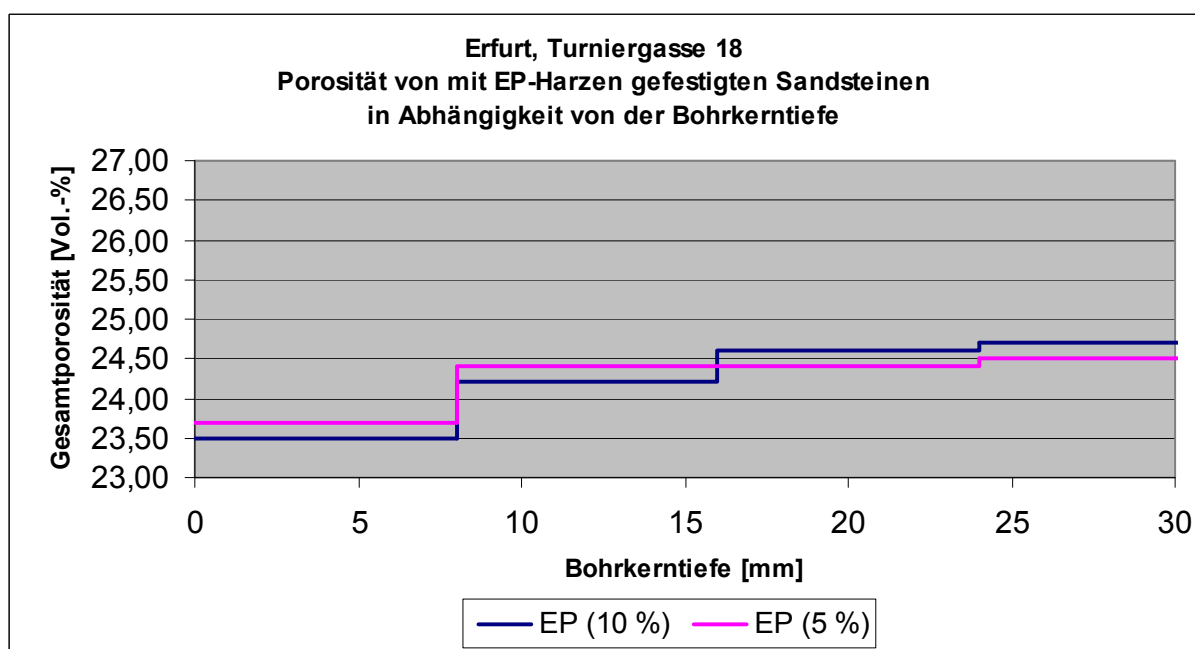


Diagramm IV-6: Porositätsprofile von mit EP-Harz-gefestigten Sandsteinen der Turniorgasse 18 in Erfurt

Ein Vergleich der Haftzugfestigkeit mit den Werten, die kurz nach der Festigung erzielt wurden, zeigt, dass die grundsätzlichen Tendenzen unverändert geblieben sind (*Diagramm IV-7*).

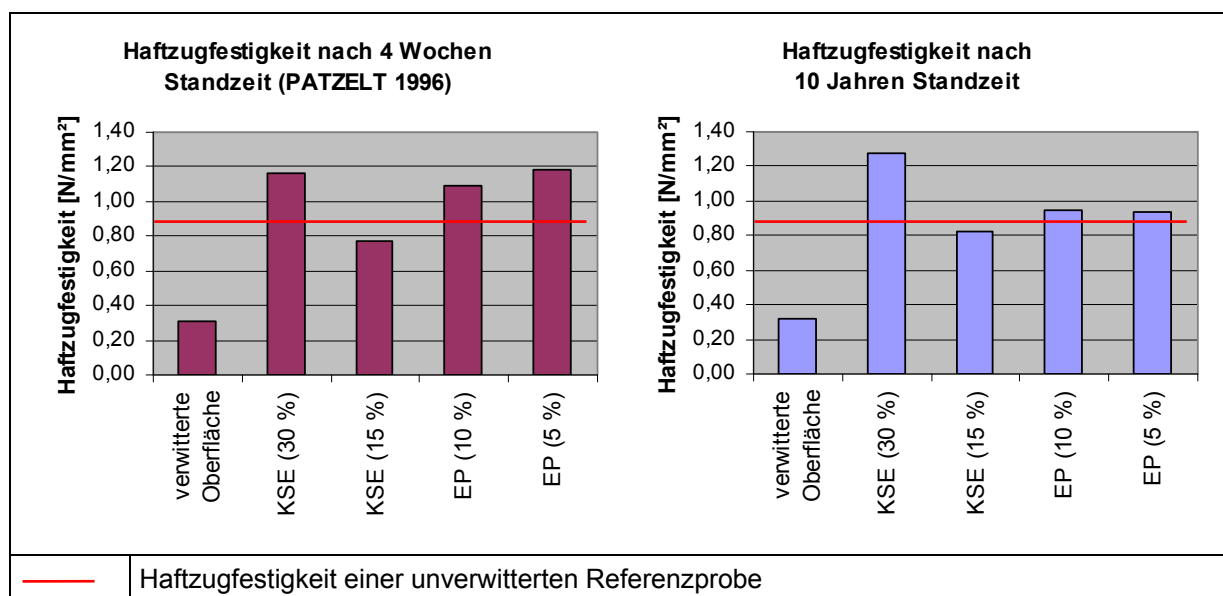


Diagramm IV-7: Haftzugfestigkeiten der gefestigten Sandsteine in der Turniergasse 18 in Erfurt nach 4 Wochen und 10 Jahren Standzeit

Der optische Zustand der Musterflächen im Keller der Turniergasse 18 in Erfurt ist im Vergleich zum Zustand nach 10 Jahren als unverändert bzw. besser zu beschreiben. Farbtonvertiefungen, die kurz nach der Festigung aufgetreten waren, sind verschwunden. Ebenso sind Schimmelbildungen auf den mit Kieselsäureestern gefestigten Flächen nicht mehr vorhanden.

Der unverdünnte Kieselsäureester ist ca. 17 bis 27 mm tief eingedrungen, wobei kein ausgeglichenes Festigkeitsprofil vorliegt. In einer Tiefe von ca. 17 bis 22 mm ist es zu einer Überfestigung des Sandsteins gekommen. Die Haftzugfestigkeit der behandelten Oberflächen ist jedoch relativ hoch, so dass davon auszugehen ist, dass die Anbindung an das Kerngestein noch in ausreichendem Maße gewährleistet ist. Die Festigung kann deshalb als bedingt erfolgreich bewertet werden.

Beim verdünnten Kieselsäureester konnten keine Änderungen im Festigkeits- oder Porositätsprofil festgestellt werden. In der verwitterten Randzone wurde ein ähnliches Festigkeitsniveau wie im unverwitterten Gesteinsinneren gebildet. Die Festigung kann als gelungen bewertet werden.

Die nachzuweisende Wirkungstiefe der EP-Harze beträgt unabhängig von ihrem Harzanteil nur ca. 5 mm. Dieses ist ein Widerspruch zu den unmittelbar nach der Festigung anhand der Verfärbungen festgestellten Eindringtiefen von ca. 20 bis 30 mm und ein Indiz dafür, dass es zu einer Rückwanderung des Harzes beim Verdunsten des Lösungsmittels gekommen ist. Dadurch ist es zu einer Überfestigung der oberflächennahen Bereiche gekommen, es besteht die Gefahr der Schalenbildung und des Abplatzens von Steinschollen. Diese Festigungsmaßnahmen können daher nur als nicht ausreichend bewertet werden.

IV.5 Eisenach, Hauptbahnhof

Allgemeine Angaben, Materialbestand:

Das Empfangsgebäude des Eisenacher Hauptbahnhofes wurde von 1902 bis 1904 errichtet. Als Baumaterial für die Fassaden wurde ein fein- bis mittelkörniger gelbbrauner sehr glimmerreicher Schilfsandstein verwendet, bei dem es sich mit großer Wahrscheinlichkeit nicht um einen thüringischen Sandstein handelt. Nur die Komponenten sind vergleichbar, der Kornverband ist jedoch viel enger als bei diesen. Die Werksteine sind als Verblenderfassade dem tragenden Ziegelmauerwerk vorgemauert. Die Hauptfassade ist nach Süden ausgerichtet und liegt direkt an der stark befahrenen Bundesstraße B 19 (Abbildung IV-11).



Abb. IV-11:
Eisenach, Empfangshalle des
Hauptbahnhofes, Südfassade

Schadbilder und Belastungssituation vor der Konservierung:

Die Werksteine der Fassaden waren stark verschmutzt und die Oberflächenporen mehr oder weniger stark verschlossen. Die meisten Sandsteine waren noch gut erhalten, die Randbereiche zu den festen Zementfugen sandeten jedoch sehr häufig ab. Teilweise traten intensive Abschalungen, fast immer im Zusammenhang mit krakeleenartigen Rissbildungen auf, wobei eine Abhängigkeit von bestimmten Einbausituationen oder Ausrichtungen nicht festzustellen war. An Steinen mit hohem Glimmeranteil konnten häufig mehrlagig übereinander liegende Abschuppungen festgestellt werden (OCHSENFARTH 1998).

Durchgeführte Konservierungsmaßnahmen:

Im Sommer 1998 wurde die Südfassade des Eisenacher Hauptbahnhofes umfassend restauriert (OCHSENFARTH 1998).

Die Steinoberflächen wurden im Pulverwirbelstahlverfahren (System „JOS“) von auflagernden Verschmutzungen und biologischem Bewuchs befreit. Sämtliche Zementfugen und -ergänzungen wurden entfernt.

Die Festigung erfolgte im KSE-System in folgenden Zyklen:

- Vorfestigung (vor der Reinigung) abschuppender Bereiche mit Funcosil® Steinfestiger 300 der Fa. REMMERS verdünnt 1 : 1 mit Isopropanol (KSE mit 15 % Gelabscheidungsrate), Applikation durch Fluten nass in nass
- Vorfestigung von Bereichen mit Schalenbildungen und Rissen mit Funcosil® Steinfestiger 300 E der Fa. REMMERS verdünnt 1 : 1 mit Isopropanol (elastifizierter KSE mit 15 % Gelabscheidungsrate)
- Nachfestigung aller vorgefestigten Steine mit Funcosil® Steinfestiger 300 der Fa. REMMERS unverdünnt (KSE mit 30 % Gelabscheidungsrate), Applikation durch Fluten nass in nass

Schalen und Bruchstücke, die sich bereits vom Untergrund gelöst hatten, wurden mit Epoxi-Injektionsharz 100 der Fa. Remmers angeklebt. Bei Bedarf erfolgte eine zusätzliche Sicherung mit Glasfieberstäben.

Schalenanböschungen und -hinterfüllungen erfolgten mit Mörteln auf KSE-Basis. Verwendet wurde eine Mischung aus Funcosil® Steinfestiger 500 E der Fa. REMMERS (elastifizierter KSE mit 50 % Gelabscheidungsrate), Pigmenten und mineralischen Zuschlägen, deren Anteil je nach erforderlicher Viskosität variierte. Anschließend erfolgte im Bedarfsfall eine Nachfestigung mit Funcosil® Steinfestiger 500 E.

Steinergänzungen an Fehlstellen wurden im Wesentlichen mit mineralischen Anstrichmörteln vorgenommen.

In Bereichen mit sehr feinem Oberflächenverlust - wie dünn abschuppenden Oberflächen - sowie in Bereichen mit Mikrorissen erfolgte das Aufbringen einer Schlämme aus einer Mischung von Funcosil® Steinfestiger 500 E, Pigmenten und mineralischen Zuschlägen. Nach dem flächendeckenden Pinselauftrag erfolgte ein Nachtupfen mit einem Schwamm, so dass nur die Risse und Vertiefungen mit der Schlämme ausgefüllt blieben.

Die Neuverfugung der Werksteine erfolgte mit kalkgebundenen Mörteln. Eine Hydrophobierung der Steinoberflächen erfolgte nicht.

Die Maßnahmen wurden detailliert kartiert, so dass eine gute Auswertung möglich war.

Anmerkung: Im Vorfeld war ein Versuch unternommen worden, die Steine vor der Sicherungsfestigung mit dem Quellminderer Antihygro der Fa. Remmers zu behandeln. Es wurde eine Probeachse an einer stark abblätternden Stelle unterhalb des großen Fensters des Empfangsgebäudes an der Balustrade angelegt. Die anschließend an Bohrkernen vorgenommene Untersuchung ergab, dass eine Behandlung mit dem Quellminderer nicht den notwendigen Erfolg erbracht hat. Somit entfiel dieser Maßnahmenteil.

Bewertung der Konservierungsmaßnahmen:

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde im Herbst 2003 - nach 5 Jahren Standzeit - eine Bewertung der Konservierung, besonders der Steinfestigung, vorgenommen (*Tabelle A-4-7*).

Tab. A-4-7: Durchgeführte Untersuchungen an der Südfassade des Bahnhofes in Eisenach

Untersuchungsverfahren	Aussage
Visuelle Einschätzung	<ul style="list-style-type: none"> - keine Glanzbildung, keine Farbtonvertiefung - keine sichtbaren Absandungen oder Schadbilder, die auf ein Versagen des Festigers hindeuten
Klang beim Anschlagen	<ul style="list-style-type: none"> - keine Klangveränderungen, die auf Schalenbildung hindeuten
Tast-Gefühl, Abrieb	<ul style="list-style-type: none"> - feste Oberfläche, kein Abrieb auf Flächen - Ecken und Kanten fest
Ritzhärte	<ul style="list-style-type: none"> - Fingernagel: keine Wirkung - Schraubenzieher: keine Wirkung, hart, festes Gefüge
Wasseraufnahme durch Benetzen	<ul style="list-style-type: none"> - Oberfläche insgesamt nicht hydrophob - in einzelnen Poren vereinzelt stehendes Wasser

Die Bohrwiderstandsmessungen an zwei gefestigten und einem ungefestigten Sandstein ergab die im *Diagramm IV-8* dargestellten Bohrhärteprofile. Nach einer kontinuierlichen Erhöhung der Festigkeit wird in einer Tiefe von ca. 17 bis 24 mm ein Maximum erreicht, bevor sie bis in eine Tiefe von ca. 32 mm leicht geringer wird und dann schlagartig das Niveau des ungefestigten Sandsteins erreicht.

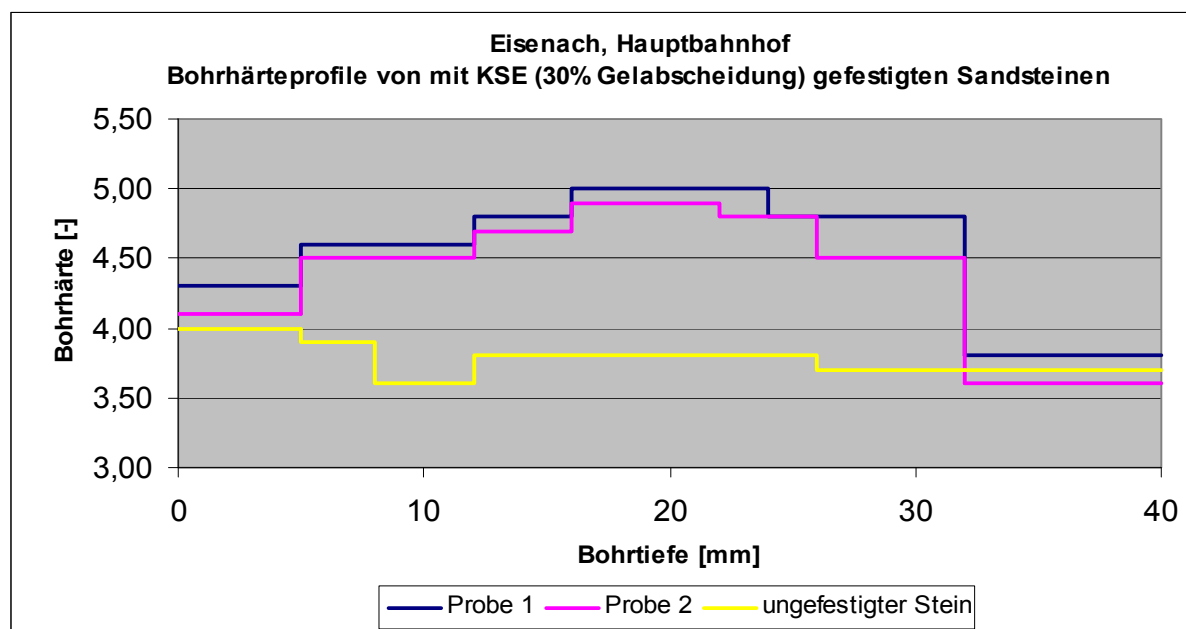


Diagramm IV-8: Bohrhärteprofile von Bohrkernen des Bahnhofes in Eisenach

Bei der tiefenabhängigen Untersuchung der Porosität kann festgestellt werden, dass es zu einer allmählichen Verringerung bis in einen Bereich von 16 bis 24 mm kommt, bevor sie auf das Niveau des ungefestigten Steins ansteigt. Der unbehandelte (ungereinigte) Stein zeigt eine deutliche Verdichtung der Oberfläche (*Diagramm IV-9*).

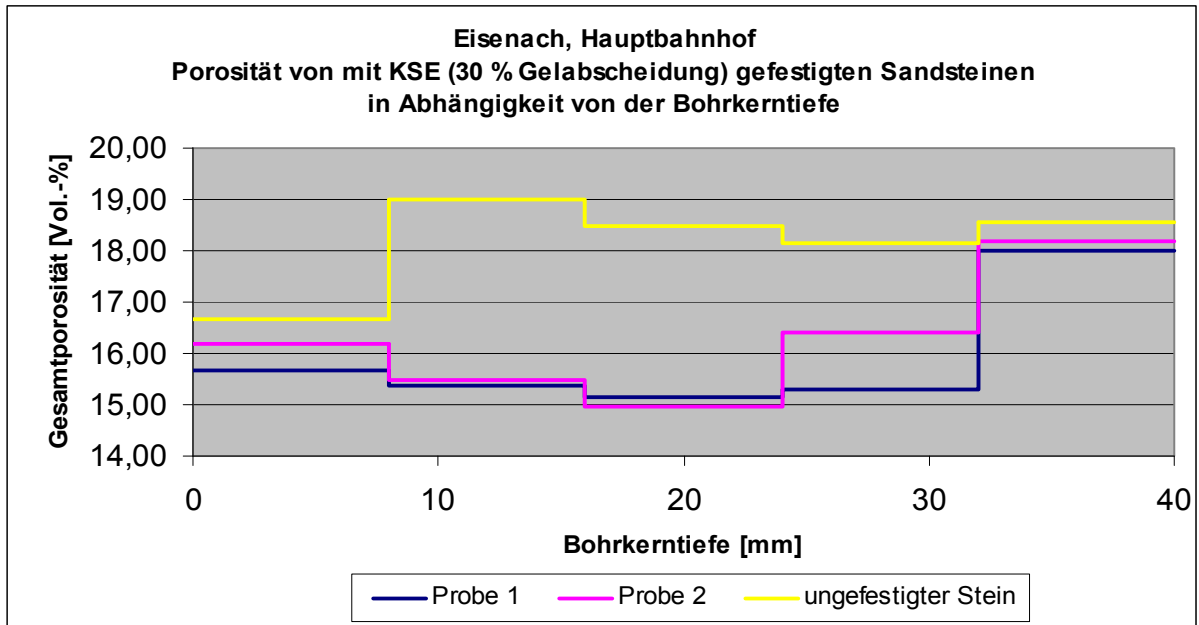


Diagramm IV-9: Tiefenabhängige Gesamtporosität von Bohrkernen des Bahnhofes Eisenach

Curriculum Vitae

Heike Kirsten
Kartäuserstraße 24
99084 Erfurt

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 06.05.1963
Geburtsort: Bad Salzungen
Familienstand: verheiratet
drei Kinder (1987, 1991, 2000)

Bildungsweg / Studium

1969 bis 1979 Polytechnische Oberschule in Geisa, Tiefenort, Brandenburg
1979 bis 1981 Erweiterte Oberschule in Potsdam
1981 Abitur
1982 bis 1987 Studium an der HAB Weimar
Fachrichtung Baustoffverfahrenstechnik
1987 Hochschulabschluss als Diplomingenieurin für Silikattechnik,
Thema der Diplomarbeit: „Restaurierung und Konservierung
des Natursteins an der Kirche Divi Blasii in Mühlhausen“

Berufstätigkeit

1981 bis 1982 Praktikantin im Betonwerk Bergholz-Rehbrücke
1987 bis 1990 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im VEB Denkmalpflege Erfurt,
Restaurierungsabteilung, Schwerpunkt Steinrestaurierung
1990 bis 1991 Mitarbeiterin im Büro für Bauten- und Kunstgutforschung
Dr. Landmann in Erfurt
seit 1991 Gründung des Ingenieurbüros für Steinsanierung und
Denkmalpflege in Erfurt. Seitdem freiberufliche Tätigkeit als
Inhaberin dieses Büros mit durchschnittlich zwei Mitarbeitern.
Tätigkeitsschwerpunkte: Voruntersuchungen, Gutachten und
Sanierungskonzepte für Gebäude und Objekte aus Naturstein
und weiteren mineralischen Baustoffen.
Planung, Ausschreibung und Betreuung von Sanierungs- und
Restaurierungsarbeiten.
2003 bis 2004 / 2007 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Fachhochschule Erfurt,
Fachbereich Bauingenieurwesen (neben der freiberuflichen
Tätigkeit)